



Mikko Honkala

LEIKKAUSSALIEN ÄÄNIONGELMAT

LEIKKAUSSALIEN ÄÄNIONGELMAT

Mikko Honkala
Opinnäytetyö
Syksy 2013
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma

Tekijä(t): Mikko Honkala

Opinnäytetyön nimi: Leikkaussalien ääniongelmat

Työn ohjaaja(t): Pirjo Kimari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2013

Sivumäärä: 36+ 3 liitettä

Työn tarkoituksena oli selvittää Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiirin vuonna 2011 valmistuneen sairaalan kahden leikkaussalin ääniongelmat. Leikkaussalien äänitasoihin alettiin kiinnittää huomiota, kun siellä työskentelevä henkilökunta koki tilan ääniarvot häiritseväksi. Selvitettäviä asioita olivat ilmanvaihdon suunnitelmien ja toteutuksen eroavaisuudet, laskennalliset ja mitatut äänitasot ja antaa korjausehdotuksia työn tuloksien perusteella. Työn tilaajana toimi Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri.

Työssä tarvittavat suunnitelmat ja mittauslaitteet saatiin työtilaajalta. Työ aloitettiin vertaamalla leikkaussalien ilmanvaihtokoneita ja toteutettuja kanavistoja suunnitelmiin. Huomatut eroavaisuudet muutettiin suunnitelmiin, jotta äänimittaukset ja suunnitteluohjelman antamat äänitasot olisivat vertailukelpoisia. Kanaviston tarkistuksen jälkeen salien äänitasot mitattiin usealla eri tavalla: tulo- ja poistopuhaltimen käydessä, poistopuhaltimen käydessä ja tulopuhaltimen käydessä. Lisäksi mitattiin taustamelu, jolloin kummatkin puhaltimet sammutettiin. Mittausten tulokset dokumentoitiin äänimittarin valmistajan ohjelmalla, ja ne on esitetty työn lopussa liitteissä 2 ja 3. Mittausten jälkeen selvitettiin suunnitelman mukaiset päätelaitteiden saliin aiheuttamat äänitasot ja niistä laskettiin salien kokonaisäänitasot.

Leikkaussalit eivät täyttäneet urakkasopimuksen edellyttämiä A-painotteisia keski- ja enimmäisäänitasoja, jotka olivat 33/38 desibeliä. Äänitason suuruus oli määritelty sairaalan toimenpidehuoneelle Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan. Leikkaussalin 2 suunnitelman kokonaisäänitaso oli 41 ja A-painotteisesti mitattu 45 desibeliä. Leikkaussali 5:ssä vastaavat arvot olivat 45 ja 54 desibeliä.

Korjausehdotukset salien äänitasojen madaltamiseksi koskivat salien ilmanvaihtokanavistoja, joiden muodon muutoksella ilmanvirtausominaisuudet parantuisivat. Kanavistoihin asennettujen osien sijoittelun tulisi noudattaa valmistajien määrittämiä suojaetäisyyksiä, jotka eivät täyty suunnitelmissa tai toteutuksessa. Omavalmisteiset äänenvaimentimet pitäisi vaihtaa tehdasvalmisteisiin, jotta niiden todellisia vaimennusarvoja voitaisiin käyttää mallinnuksessa ja laskennassa.

Asiasanat: Ilmanvaihto, akustiikka, suunnittelu

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 ÄÄNI	6
2.1 Intensiteetti ja intensiteettitaso	6
2.2 Äänenpaine ja äänenpainetaso	7
2.3 Äänen tehotaso	8
2.4 Taajuuspainotus	8
2.5 Ekvivalentti äänitaso	9
2.6 Äänitasojen yhteen- ja vähennyslasku	10
2.7 Melu	11
3 MITTAUSKOHDDE	13
3.1 Leikkaussalien ääniongelmien tutkiminen	13
3.2 Leikkaussali 2	15
3.3 Leikkaussali 5	18
3.4 Kohteen suunnitelmat	21
3.5 Äänimittaukset	23
4 MITTAUS- JA LASKENTATULOKSET	25
4.1 Suunnitelman mukaiset äänitasot	25
4.2 Leikkaussali 2:n tulokset	25
4.3 Leikkaussali 5:n tulokset	27
5 RATKAISUMALLIT	31
6 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	35
LIITTEET	
Liite 1. Lähtötietomuistio	
Liite 2. Leikkaussali 2:n äänimittaukset	
Liite 3. Leikkaussali 5:n äänimittaukset	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiirin aloitteesta. Työssä tutkittiin vuonna 2011 valmistuneen sairaalan kahden leikkaussalin ääniongelmia. Leikkaussaleissa työskentelevä henkilökunta kokee salien äänitasot niin korkeiksi, että ne vaikuttavat häiritsevästi työskentelyyn. Leikkaussalien suunnitteluäänepainetasoksi on urakkasopimuksessa määritelty 33/38 dB(A), joka vastaa Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 sairaalan toimenpidehuoneelle asetettuja keski- ja enimmäisäänitasoja huoneessa. (1, s. 29.) Alustavat tilaajan tekemät äänitasojen mittaukset leikkaussaleissa osoittivat, että äänenpainetasot olivat sopimuksen arvoja korkeammat. Tämän seurauksena tilaaja ja suunnittelutoimisto alkoivat tutkia tarkemmin leikkaussalien ääniongelmia. Opinnäytetyön tarkoitus on olla taustatukena tilaajan tekemiin omiin selvityksiin ja tutkimuksiin leikkaussalien korkeista äänitasoista. Lisäksi selvittää mahdolliset äänen aiheuttajat ja antaa tulosten perusteella korjausehdotukset.

Työn tilaajalta saatiin työssä tarvittavat lähtötiedot, joihin kuuluivat leikkaussalien pohjakuvat paperiversiona, ilmanvaihtokoneiden koneajot ja koko ilmanvaihtosuunnitteluprojektikansio. Kohteen alkuperäiset suunnitelmat oli tehty MagiCAD-ohjelmalla, joten työssä käytettiin samaa suunnitteluohjelmaa leikkaussalien toteutuksen mallintamiseen ja äänentasojen laskemiseen.

Opinnäytetyö alkoi ilmanvaihtokoneiden moduulien ja ilmanvaihtokanaviston tarkastuksella. Tarkastuksessa verrattiin koneiden osia ja kanaviston toteutusta koneajoihin ja suunnitelmiin. Poikkeavuudet suunnittelun ja toteutuksen välillä korjattiin suunnitelmiin vastaamaan toteutusta ja laskenta suoritettiin toteutuksen mukaan. Vertailun vuoksi äänilaskenta tehtiin myös alkuperäisien suunnitelmien mukaan, jotta voitiin osoittaa suunnitelmista poikkeavien asennuksien vaikutus salien äänitasoihin.

Korjausehdotukset annettiin laskennallisten tulosten perusteella. Leikkaussalien kanavisto tulisi suunnitella ja toteuttaa pyöreällä kanavalla, jolla on paremmat virtausominaisuudet kuin kanttikanavalla. Omavalmisteiset kanaviston komponentit tulee korvata tehdasvalmisteisilla, ja komponenttien sijoittelun tulee noudattaa valmistajan määräyksiä ja ohjeita niin suunnittelussa kuin asennuksessa.

2 ÄÄNI

Ääni on värähtelyä, joka etenee kimmoisessa väliaineessa pitkittäisenä aaltoliikkeenä ja välittää näin mekaanista energiaa (2, s. 52). Väliaineena voi toimia kaasu, neste, plasma tai kiinteä materiaali. Kiinteässä väliaineessa värähtely, jota kutsutaan värinäksi, voi edetä myös poikittaisena tai taivutusaaltona. Ääni tarvitsee aina etenemiseen väliaineen, joten tyhjiössä ääni ei etene. Väliaineessa värähtely voidaan havaita fluidin tihentyminä ja harventumina eli paineen vaihteluna, joka aiheuttaa korvassa kuuloaistimuksen. Värähtely havaitaan kuulo- tai tuntoaistimuksella ja mittaamalla. Yleisin väliaine värähtelylle on ilma, jolloin kyseessä on ilmaääni. (3, s. 5–7.)

Äänen tieteellistä tutkimusta, äänioppia kutsutaan akustiikaksi, jossa käytetään logaritmiin perustuvia suureita (4, s. 280). Ihmisten kuuloaisti on logaritminen. Sen herkkyyalue tunnistaa noin 13 dekaania eli kertaluokkaa ja aistii yhtä suuret suhteelliset ärsyksen muutokset samansuuruisina. (3, s. 9.)

2.1 Intensiteetti ja intensiteettitaso

Intensiteettiä (I) voidaan käyttää äänen voimakkuuden mittana ja se määritellään ääniaallon kuljettamana tehona pinta-alaa kohti. Intensiteetin yksikkö on W/m^2 . Kuvassa 1 on esitetty ihmisen korvan havaitsemat intensiteettitasot. Pienin intensiteetti, jonka ihmiskorva kykenee havaitsemaan ärsykkeenä on $2,5 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Tästä alimmasta intensiteetin arvosta käytetään nimitystä kuulokynnys. Korvan havaitsemalla äänen intensiteetillä ei ole ylärajaa, mutta kipukynnyksenä pidetään intensiteetin arvoa 1 W/m^2 . (2, s. 52.)

Ääni	Intensiteetti W/m ²	Intensiteettitaso dB
Voimakkain laboratoriossa saavutettu ääni	10 ⁹	210
Tärykalvon repeämä	10 ⁴	160
Suihkumoottori (30 m)	10	130
Kipukynnys	1	120
Ukkonen	10 ⁻¹	110
Kova liikennemelu	10 ⁻⁵	70
Tavallinen keskustelu	10 ⁻⁶	60
Kuiskaus	10 ⁻¹⁰	20
Kuulokynnys	2.5x10 ⁻¹²	4

KUVA 1. Äänen intensiteettejä (2, s. 53)

Kun intensiteetti esitetään logaritmisella asteikolla, siitä käytetään nimitystä intensiteettitaso, jonka yksikkö on dimensioton desibeli (dB). Intensiteettitason laskennassa on määritelty referenssitaso, jonka suuruus on $0,937 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Tätä tasoa verrataan kuultavan äänen intensiteettiin ja ottamalla siitä 10-kantainen logaritmi saadaan äänen intensiteettitaso määriteltyä kaavalla 1. (4, s. 294.)

$$L_I = 10 \text{ dB} \cdot \lg \frac{I}{I_0}$$

KAAVA 1

I = mitattu äänen intensiteetti

I_0 = intensiteetin vertailuarvo, $0,937 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$

2.2 Äänenpaine ja äänenpainetaso

Äänenpaine on suure, jolla mitataan äänen voimakkuutta vain yhdessä pisteessä. Äänenpaine on äänen aaltoliikkeen aiheuttama hetkellinen paineen vaihtelu staattisen paineen suhteen, ja sen yksikkö on pascal (Pa). Äänenpaine riippuu äänilähteen äänitehosta, lähteen ja havaintopisteen välisestä etäisyydestä ja ympäristön akustisista ominaisuuksista (5, s. 60).

Äänimittarit perustuvat äänenpaineen mittaamiseen, ja äänenpaine esiintyy myös väliaineen värähtelyn ja intensiteetin yhteydessä. Edellä mainittujen perustelujen vuoksi on määriteltävä intensiteettitason lisäksi toinen suure, äänenpainetaso (L_p) äänen voimakkuuden ilmaisemiseen äänenpainetta käyttäen. Äänenpainetaso määritetään kaavalla 2. (4, s. 295.)

$$L_I = L_p = 10 \text{ dB} \cdot \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \text{ dB} \cdot \lg \frac{p}{p_0} \quad \text{KAAVA 2}$$

p = tarkasteltava äänenpaine

p_0 = äänenpaineen vertailuarvo, 2×10^{-5} Pa

Äänenpainetason standardoitu vertailuarvo on ihmisen kuulokynnystä vastaava tehollinen äänenpaine 1000 hertzin taajuudella (6, s. 13). Äänenpainetaso yksikkö on desibeli. Äänenpainetaso on SI-järjestelmään kuuluva suure, ja se antaa samalle äänelle saman ääniarvon kuin intensiteettitaso määritelmä.

2.3 Äänen tehotaso

Äänen teholla kuvataan äänienergiaa, jonka ääntä tuottava systeemi luovuttaa aikayksikössä ääniaaltoina ympäristöönsä (7, s. 53). Äänen tehotaso ilmoittaa akustisen tehon suuruuden, minkä äänilähde tuottaa. Tehotaso on äänilähteiden perusominaisuus, joka on riippumaton lähteen sijoituspaikasta tai ympäristöstä. Äänen tehotaso (L_W) määritellään kaavalla 3. (6, s. 13.)

$$L_W = 10 \text{ dB} \cdot \lg \frac{P}{P_0} \quad \text{KAAVA 3}$$

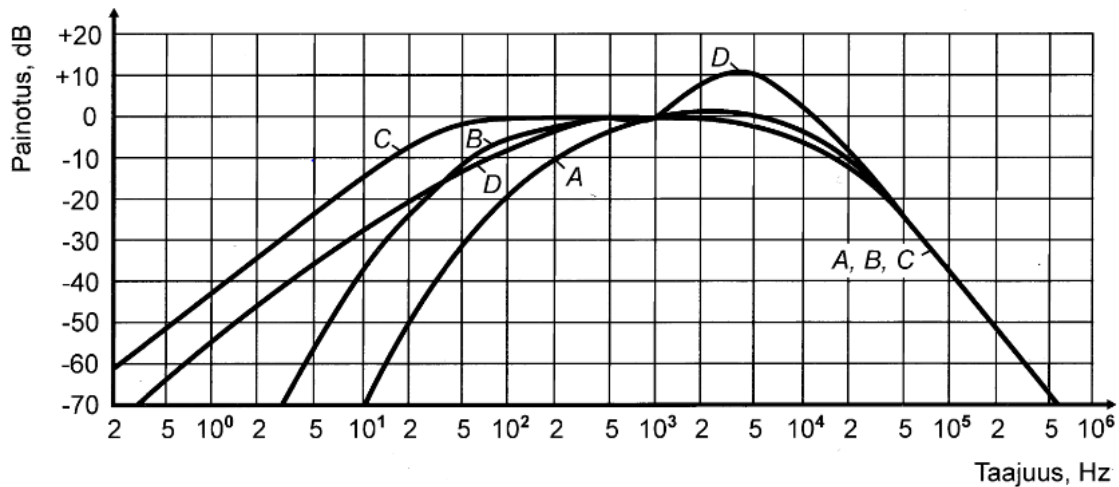
P = mitattu ääniteho

P_0 = äänitehon vertailuarvo, 1×10^{-12} W

2.4 Taajuuspainotus

Leikkaussalien ilmanvaihdon äänitasoa mitattaessa taajuusanalyysin tekeminen on työlästä, joten mittauksissa käytettiin mittaria, johon on rakennettu painotussuodattimet, jotka simuloivat ihmisen kuuloherkkyyttä. Standardin mukaisia painotusalueita on neljä, ja ne ilmoitetaan kirjaimin A, B, C ja D. A-painotus on yleisin käytössä oleva ja vastaa

ihmisen kuuloaistin taajuusvastetta. Äänen tasomittareiden taajuuspainotukset on esitetty kaistoittain kuvassa 2.



KUVA 2. Äänitasomittareissa käytettävät taajuuspainotukset (3, s. 13)

Oktaavikaistoittainen äänentaso muutetaan kokonaismelutasoksi samalla tavoin logaritmisesti kuin äänenpaineiden yhteenlasku.

2.5 Ekvivalentti äänitaso

Ekvivalenttia äänitasoa käytetään työpaikka- ja liikennemelun voimakkuuden määrittämiseen. Ekvivalenttitasolla tarkoitetaan voimakkuudeltaan muuttumatonta äänitasoa, jonka äänienergia on yhtä suuri kuin voimakkuudeltaan vaihtelevan äänen, ja se mitataan yleensä A-painotettuna. Kuten tämänkin opinnäytetyön mittauksissa, tähän käytetään äänimittaria, jonka laskenta perustuu kaavan 4 mukaiseen integraaliin. (3, s. 14–15.)

$$L_{Aeq} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L_A(t)/10} dt \right]$$

KAAVA 4

T = tarkasteltava äänijakso

$L_a(t)$ = hetkellinen äänitaso

2.6 Äänitasojen yhteen- ja vähennyslasku

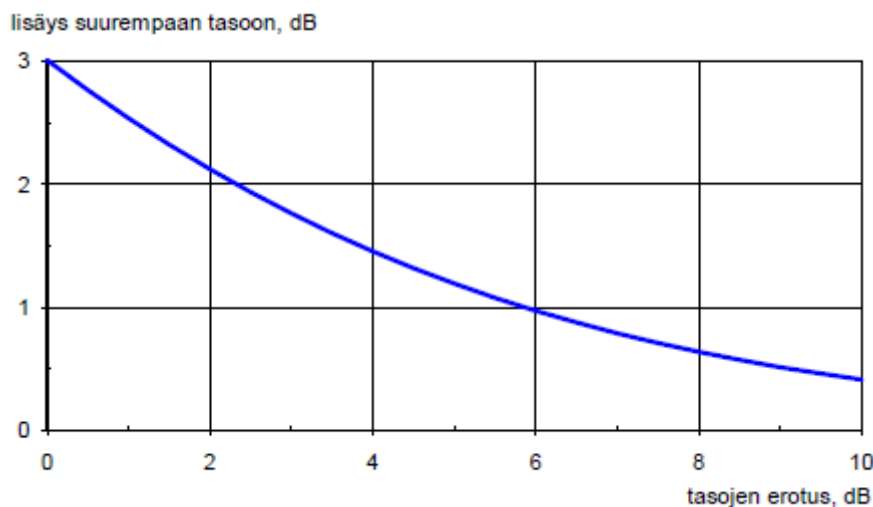
Äänitasot ovat logaritmisia arvoja, joten niitä ei voi laskea suoraan yhteen tai vähentää, kuten lineaarisia arvoja. Usean äänilähteen yhteinen äänitaso saadaan laskemalla kaikkien huonetilaan ääntä aiheuttavien laitteiden äänitasot yhteen kaavan 5 mukaisesti. (4, s. 297.)

$$L = 10 \text{ dB} \cdot \lg \left(10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}} + 10^{\frac{L_2}{10 \text{ dB}}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10 \text{ dB}}} \right) \quad \text{KAAVA 5}$$

L = laitteiden yhteisesti aiheuttama äänitaso

$L_1, L_2 \dots L_n$ = osääänien äänenpainetasot

Kuvassa 3 esitetyllä käyrällä, joka on kahden erisuuruisen äänitason logaritmisien yhteenlaskun äänitasojen eron funktio päästään samaan lopputulokseen kuin kaavalla 5. Vaaka-akselilla on tasojen L_1 ja L_2 välinen erotus ja pystyakselilla lisäys suurempaan tasoon.



KUVA 3. Kahden äänitason yhteenlasku (6, s. 19)

Jos tiedetään kahden äänenpaineen tehojen kokonaisäänitaso ja toisen osääänen äänitaso, voidaan kaavalla 6 laskea tuntematon äänitaso (6, s. 18).

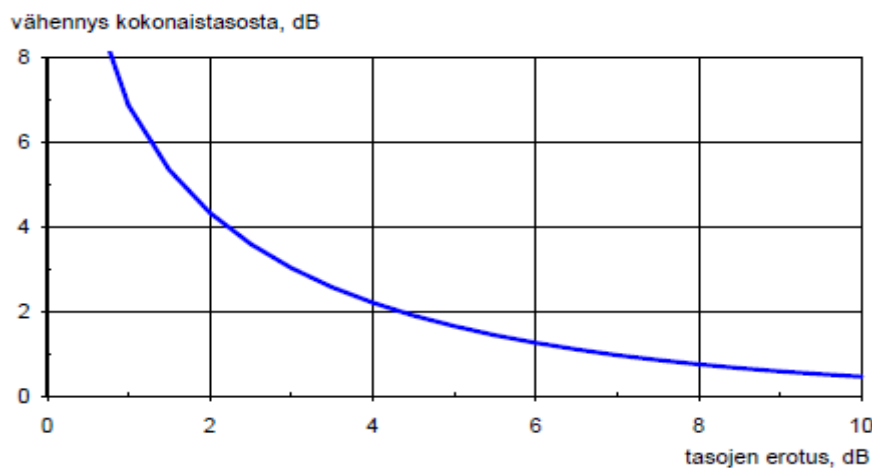
$$\Delta L = 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}} - 10^{\frac{L_2}{10 \text{ dB}}} \right)$$

KAAVA 6

ΔL = äänenpainetasojen erotus

L_1, L_2 = osääniä äänenpainetasot

Kuvan 4 esittämällä käyrällä päästään samaan laskennalliseen tulokseen kuin kaavalla 6.



KUVA 4. Kahden äänitason vähennyslasku (6, s. 19)

2.7 Melu

Melu on ääntä, joka koetaan epämiellyttävänä ja häiritseväenä tai ääntä, joka on jollakin tavalla terveydelle haitallista. Melun vaikutuksen ja haitallisuuden arvioiminen on vaikeaa, koska meluun liittyy yleensä subjektiivinen kokemus ja tilannekohtainen asenne. Melu rasittaa elimistöä psyykkisesti, ja fyysisesti se heikentää kuuloa. Psykologisesta työhyvinvoinnin näkökulmasta melu laskee suorituskyykyä ja aiheuttaa stressiä, etenkin jos se on ristiriidassa oletetun tai toivotun äänimaailman kanssa. Melun vahingollisuuden kuvaajana käytetään meluenergiaa, joka mitataan kuuloaistin herkkyyden mukaan A-taajuuspainotettuna. Melun, kuten äänenkin yksikkö on desibeli. Melu on eniten tyytymättömyyttä aiheuttava sisäympäristöongelma. (7, s. 9–13; 25.)

Henkilön suhtautumista meluun kuvataan meluherkkyytenä. Selkeää luetteloa meluherkkyyttä aiheuttavista tekijöistä ei voida laatia. Toiselle ihmiselle häiritsevä ääni voi olla sellainen, mitä toinen ei edes huomaa tai koe meluna. Epämiellyttävän ja häiritsevän äänen sietokyky on yksilöllistä niin kuin äänen kokeminen meluksi. (8, s. 43.)

Ilmastointikoneiden, kanaviston ja päätelaitteiden valinta on keskeinen osa sisäilmaston suunnittelua. Ilmastointiin kohdistuu usein valituksia sen aiheuttaman tai siirtämän melun takia. Ilman virtaus kanavistossa ja siihen asennetuissa laitteissa aiheuttaa aina ääntä turbulenttisen virtauksen takia. Perusajatus on, että mitä suurempi nopeus, paineen pudotus tai ilman pyörteily on, sitä enemmän ne tuottavat ääntä. Melun torjunnassa keskeisimpinä laitteina ovat puhaltimet, säätöpellit, äänenvaimentimet, päätelaitteet, venttiilit ja muut kanaviston epäjatkuvuuskohdat. (3, s. 1–2.)

3 MITTAUSKOHDDE

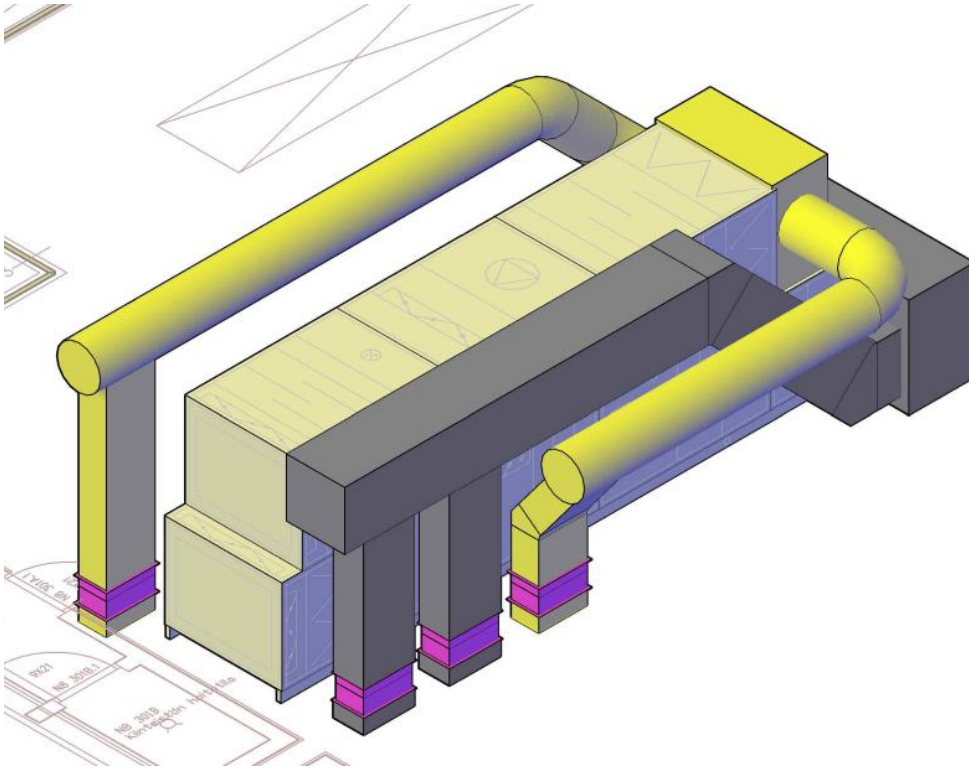
Tutkittavat leikkaussalit sijaitsevat vuonna 2011 rakennetussa Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiirin sairaalassa. Työn laajuus rajattiin koskemaan kahta pinta-aloiltaan ja ilmanvirroiltaan erilaista salia, leikkaussalia 2 ja leikkaussalia 5. Leikkaussalit sijaitsevat rakennuksen toisessa kerroksessa ja IV-konehuoneet kolmannessa.

Leikkaussalien ilmanvaihdon hoitaa jokaisen salin oma ilmanvaihtokone, joka on sijoitettu leikkaussalin yläpuolella olevaan IV-konehuoneeseen. Saleissa ei ole erillistä lämmitysjärjestelmää vaan lämmitystä, jäähdytystä ja sisäilman suhteellista kosteutta säädetään leikkaussalien ilmanvaihdolla. Salien paineistusta voidaan muuttaa leikkaussalien sisältä käyttötarpeen mukaan joko ylipaineiseksi tai alipaineiseksi. Luvut 3.1–3.3 antavat tarkemman kuvan työn toteutuksesta ja työn kohteena olleista leikkaussaleista.

3.1 Leikkaussalien ääniongelmien tutkiminen

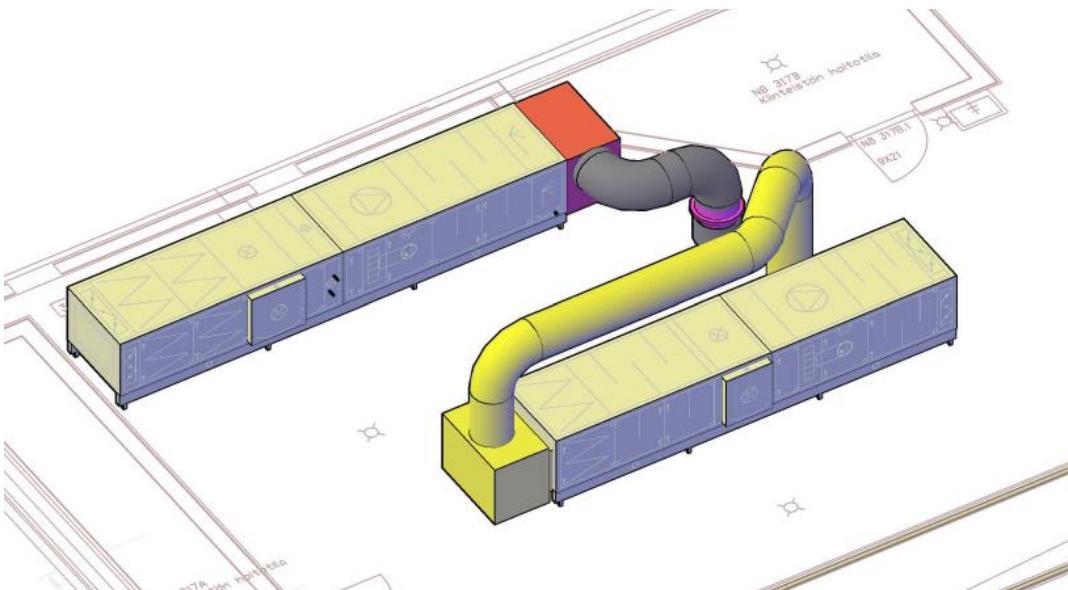
Työ aloitettiin vertailemalla koneajoasiakirjojen mukaisia ilmanvaihtokoneita paikalla oleviin koneisiin. Ilmanvaihtokoneet pysäytettiin tarkistusten ajaksi, jotta kammioiden ovet voitiin avata ja tarkastaa moduulien, lämpöpattereiden, puhaltimien, ääniloukkujen ja muiden koneeseen asennettujen laitteiden tuotekoodit. Asiakirjat vastasivat asennettuja moduuleja ja konekomponentteja.

Koneiden tarkastuksen jälkeen verrattiin suunnitteluratkaisua ja konehuoneessa olemassa olevaa kanavistoa ja siihen asennettuja komponentteja. Eroavaisuuksia löytyi tuloilmanakanavien dimensioissa, muodossa ja sijoittelusta. Leikkaussalin 5 ilmanvaihtokoneen jakolaatikosta lähtevät kaksi pyöreää, halkaisijaltaan 630 mm tulokanavaa, jotka muuttuvat kanttikanavaksi 700x400 mm, oli korvattu yhdellä 750x750 mm:n kanavalla kuvan 5 mukaisesti.



KUVA 5. Leikkaussali 5 ilmanvaihtokoneen kanavisto IV-konehuoneessa

Leikkaussalin 2 konehuoneen kanavistossa poikkeavuudet rajoittuivat kanavien sijoitteluun. Kuvassa 6 on esitetty leikkaussalin 2 ilmanvaihtokone ja kanavisto konehuoneessa.



KUVA 6. Leikkaussalin 2 ilmanvaihtokone ja kanavisto IV-konehuoneessa

Leikkaussalien puolella tutkinta alkoi alas laskettujen kattojen yläpuolisten kanavistojen vertailulla suunnitelmiin ja kanavaan asennettujen komponenttien paikkojen ja tyyppien selvittelyllä. Piirustusten ja toteutuksen vertailun jälkeen salien äänitasot mitattiin neljällä eri tavalla:

- tulo- ja poistoilmapuhallin päällä
- poistoilmapuhallin päällä
- tuloilmapuhallin päällä
- taustamelu eli molemmat puhaltimet sammutettiin.

3.2 Leikkaussali 2

Leikkaussali 2 on tutkittavista saleista pienempi. Salin pinta-ala on $46,5 \text{ m}^2$ ja tilavuus 164 m^3 . Salin ilmanvaihtokoneen asetusarvo tuloilmavirrälle on $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ja poistoilmavirrälle $0,96 \text{ m}^3/\text{s}$ leikkaustilanteessa, eli sali on perustilanteessa ylipaineinen. Paineistusta voidaan muuttaa salin sisältä noin 20 pascalin alipaineeseen. Samoin voidaan säätää lämpötilaa ja salin ilman kosteusprosenttia.

Toiminnan ulkopuolella salin ilmanvaihto on noin 30 prosenttia leikkausten aikaisesta ja puhaltimien tehojen pudotusta ohjataan rakennusautomaatiolla, joka on yhteydessä valojen liiketunnistimiin. Valojen liiketunnistin aktivoituu, kun se havaitsee liikettä salin sisällä ja samalla ilmanvaihtokone nostaa tehoja päästäkseen asetusarvoonsa. Valot sammuvat aikaviiveellä, kun salissa ei ole toimintaa, ja samalla ilmanvaihtokone laskee tehojaan lepotilan asetusarvoon.

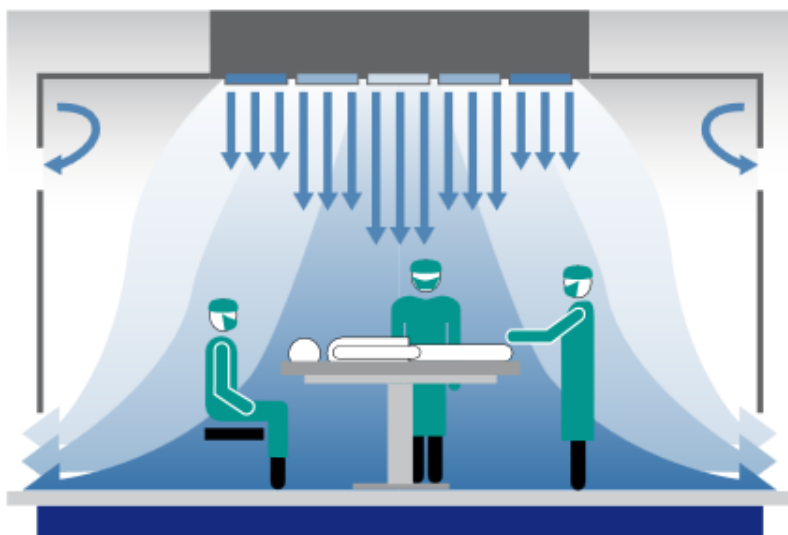
Leikkaussalin seinäpinnat ovat pääosin laattaa, lattiat muovimattoja ja katto pinnoitettua huokoista akustiikkalevyä. Pintamateriaalien valintaperusteena oli desinfioivien puhdistusaineiden kesto, helppo puhdistettavuus ja kulumisen kesto. Leikkaussalin pintamateriaalit näkyvät kuvassa 7.



KUVA 7. Leikkaussali 2 sisältä

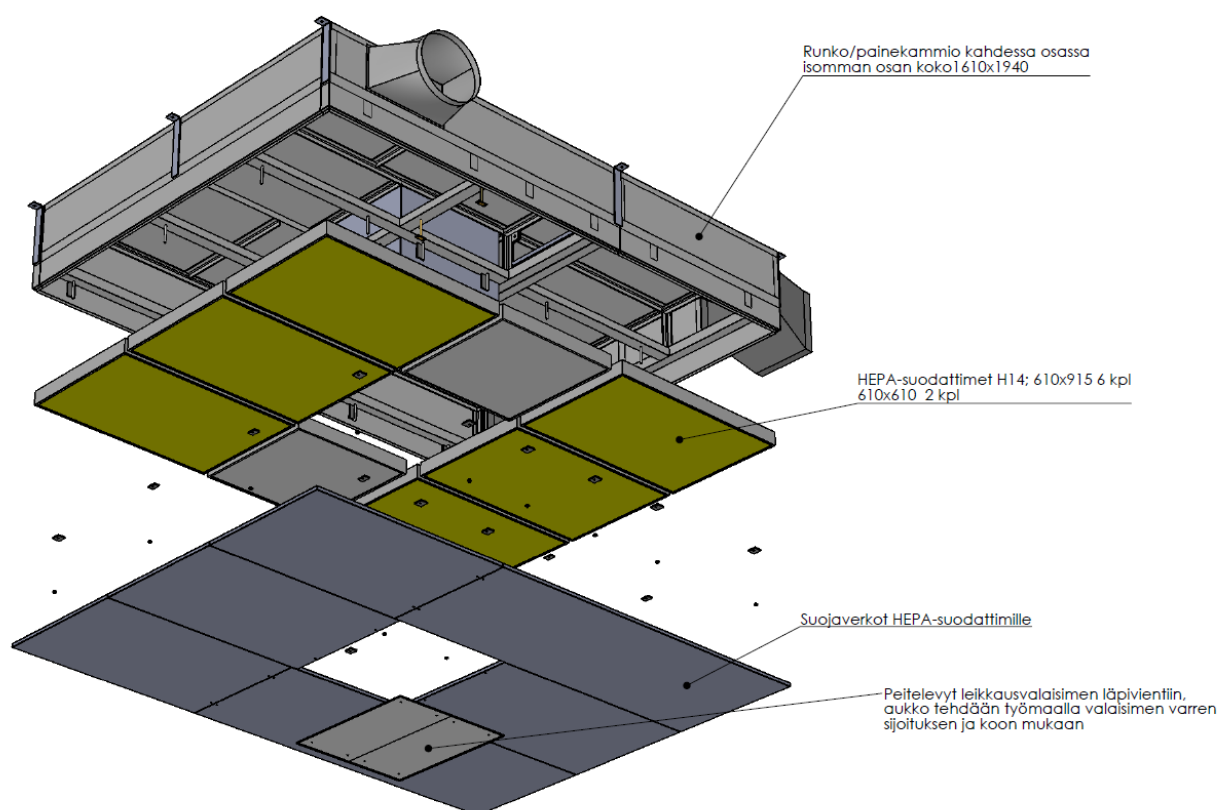
Ilmanvaihtokanavat sijaitsevat alas lasketun katon yläpuolella olevassa teknisessä tilassa. Tuloilma puhalletaan suoraan alaspäin salin leikkauspöydän päällä olevasta laminaarikatosta, jossa on HEPA-suodattimet. HEPA-lyhenne tulee englantinkielisistä sanoista High Efficiency Particulate Air filter.

Katon toiminta perustuu ilman vertikaaliseen laminaarivirtaukseen, joka tarkoittaa samaan suuntaan pyörteettömästi virtaavaa ilmamassaa. Laminaarivirtaus saadaan aikaan ilmastointikaton paineentasauskammiossa, jossa puhaltimen paine tasataan ja ilma virtaa pyörteettömästi suodattimien läpi nopeudella 0,3 m/s. Tällöin ilmamassat eivät sekoitu leikkauspöydän päällä, vaan tuloilma syrjäyttää leikkausalueella aikaisemmin olleen ilmamassan kuvan 8 mukaisesti. Leikkaussalin ilma vaihtuu noin 22 kertaa tunnissa ja leikkausalueen noin 400 kertaa. (10.)



KUVA 8. Laminaarikaton ilmanjako leikkaussalissa (9, s. 2)

Laminaarikaton rakenne on esitetty kuvassa 9. Katon rakenteella ilmavirran nopeus saadaan vaihtelevaan vyöhykkeittäin niin, että nopein ilmavirta tuodaan alueen keskelle, leikkauspöydän päälle.



KUVA 9. Leikkaussalin 2 laminaarikaton rakenne

JSL 23 JSL 23 F49 V F49 O JSL 11

VS23 VS22 VS13.2

NB 240 Lelikkaus 45.3

rtg-suojaus

VS25 VS13.1 VS21

LAM KSL VS23 VS22 150T PSK PSK VS13

NB 240.1

TARVIKE AUTOM./TEH

TARVIKE AUTOM./TEH

3.3 Leikkaussali 5

18

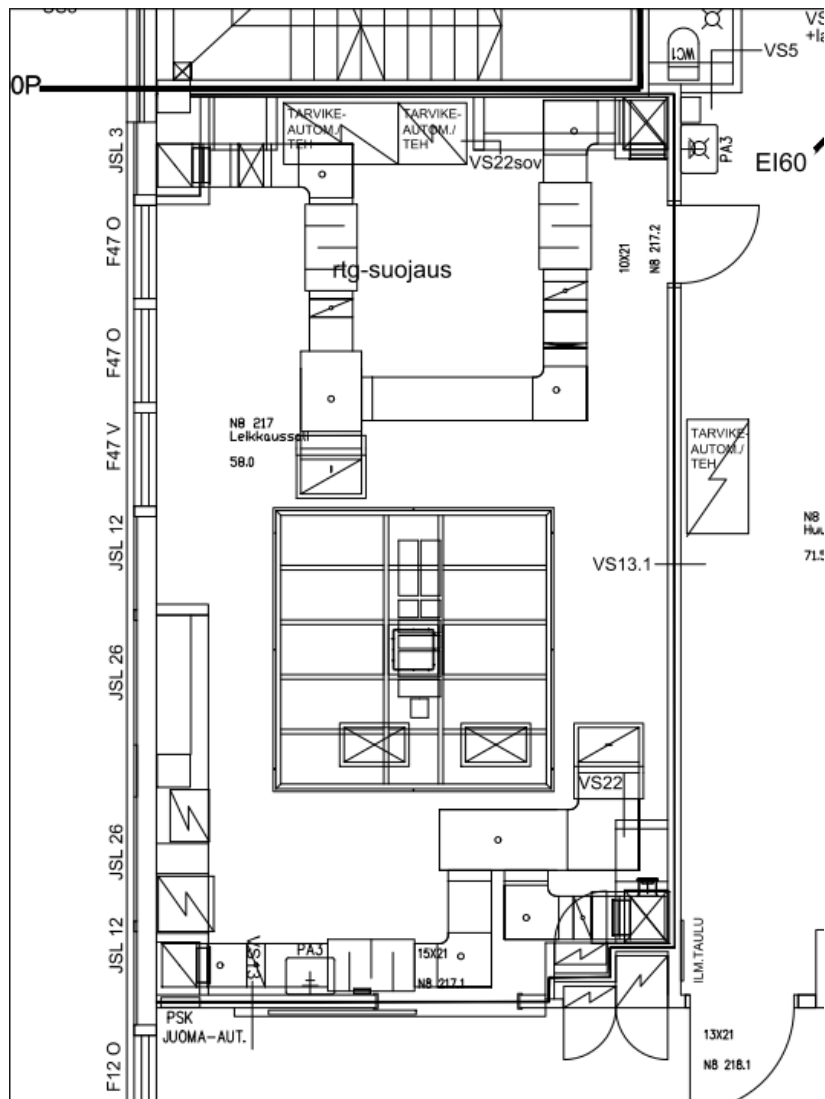
Salin ilmanvaihtoa ohjataan samalla toimintaperiaatteella kuin salissa 2. Toiminnan loputtua puhaltimien teho putoaa noin 30 prosenttiin toiminnan aikaisesta tehosta. Kuva 11 osoittaa, että leikkaussali 5:n sisäpintamateriaalit ovat vastaavanlaisia leikkaussali 2:n pintojen kanssa.



KUVA 11. Leikkaussali 5

Leikkaussalin 5 tuloilma puhalletaan leikkauspöydän päälle rakenteeltaan ja suodattavuusluokaltaan samanlaisesta laminaarikatosta kuin salissa 2. Leikkaussalin ilma vaihtuu noin 53 kertaa tunnissa.

Leikkaussalin poistoilmakanavisto noudattaa leikkaussalin 2 periaatetta. Jokaisessa salin nurkassa on kaksi päällekkäistä suorakaiteen muotoista 400x800 mm:n poistoilmäsäleikköä, joiden sijainti tehostaa laminaarikaton syrjäyttävää ilmanjakoa. Säleiköt on kiinnitetty kauluksella pystyyn asennettuihin poistoilmakanaviin, ja säleiköiden ja kanavien välissä on suodatinmatto. Kanavat yhdistetään kahdeksi suuremmaksi kanavaksi, jotka viedään konehuoneeseen kuvan 12 mukaisesti.



KUVA 12. Leikkaussali 5 ilmanvaihtokanavisto

Poistokanavien äänenvaimentimet, joilla on tarkoitus vaimentaa säätöpeltien aiheuttamaa ääntä leikkaussaliin, on kuvista poiketen korvattu kahdella metrin mittaisella ja 3 cm:n levyisellä lamellilla, jotka on päällystetty Dacron-polyesterikuidulla. Lamellit on asennettu suoraan kanavaan ilman kanavan laajennusta. Kuvan 12 vasemman alanurkan säätöpellin ja äänenvaimentimen paikat ovat päinvastaiset muihin kanaviin verrattuna.

Salin poistokanavien säätöpellit ovat sälepeltejä. Säätöpeltien tarkoituksena on säätää poistosäleiköistä kulkevan ilman määrää ja tasapainottaa kanavistoa siten, että päätelaitteilta saadaan suunnitelman mukainen ilmavirta. Peltien toiminta perustuu niiden aiheuttamaan painehäviöön, jonka kasvattaminen aiheuttaa ilmamäärän vähenemisen. Ka-

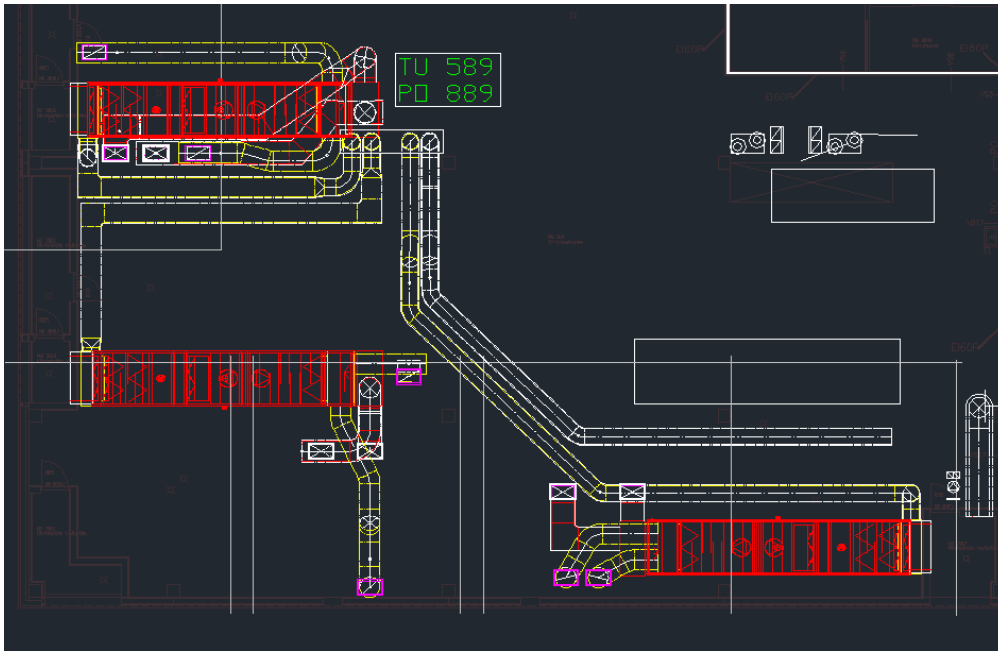
navan poikkipinta-ala pienenee säätöpellin kohdalla, mikä aiheuttaa hetkellisen virtausnopeuden kasvun ja täten lisää äänitehotasoa. (3, s. 45.)

Pellit säädettiin ennen salin käyttöönottoa suunnitelmien mukaisiin säätöarvoihin, mutta ne jouduttiin kuitenkin avaamaan kokonaan auki pian käyttöönoton jälkeen salin äänitason alentamiseksi. Salista poistuu suunnitelman mukainen ilmamäärä, mutta yksittäisten poistoelinten ilmamäärä ei vastaa suunnitteluratkaisua, koska kanavisto ei ole tasapainossa.

3.4 Kohteen suunnitelmat

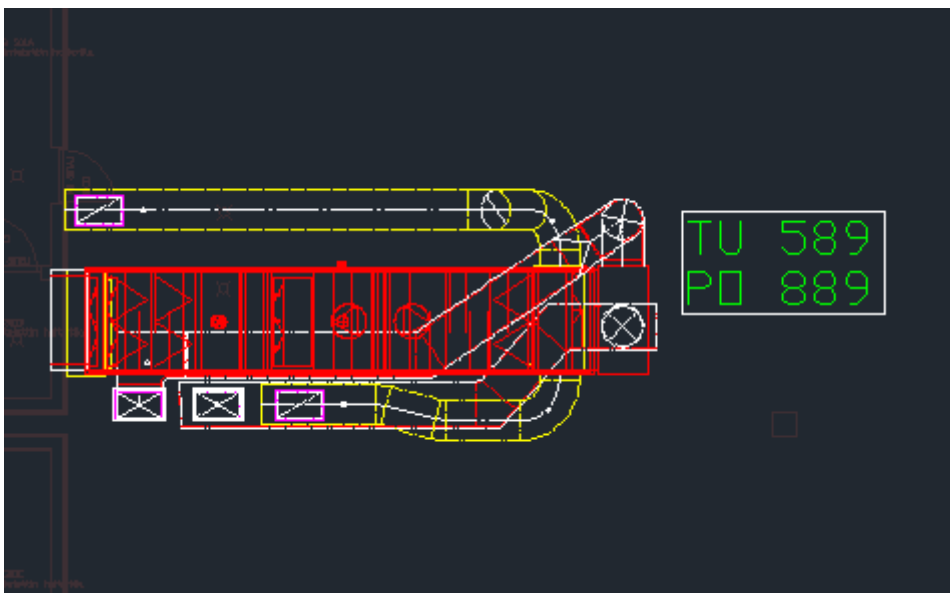
Leikkaussalien ja konehuoneen suunnitelmat projektitietoineen, jotka mahdollistavat mitoituksen saatiin työn tilaajan tietokantapankista, jonne ne oli toimitettu kohteen suunnittelutoimistosta. Suunnitelmat on tehty AutoCADin MagiCad-sovelluksella, jota käytettiin suunnitteluohjelmalla tämänkin työn mallintamisessa. Sairaalan pohjapiirustukset kerroksista 2–3 saatiin myös paperitulosteina.

Suunnitelmien tarkastus aloitettiin vertaamalla projektitietoja tutkittavien salien koneajoihin, jotta nähtiin, oliko koneiden tuottamat äänitasot oktaavikaistoittain kirjattu oikein ja oikeille systeemeille. Suunnitelmien tarkastuksessa huomattiin, että ilmanvaihdon eri systeemien mitoitus ei ole mahdollista. Jotta mitoitus olisi mahdollista suunnitteluohjelmalla, tulo- ja poistoilmakanavat tulisi olla piirrettynä leikkaussalikohdaisesti omille systeemeille. Suunnitelmissa eri systeemien kanavia oli piirretty sekaisin ja konekoodit olivat ristiriidassa paperisten loppukuvien kanssa. Raitis- ja jäteilmakanavat oli piirretty tulo- ja poistokanavina. Äänitasojen mitoituksen kannalta kuvat piti korjata vastaamaan suunnitteluratkaisua, jonka pohjalta salien äänitasot oli esitetty tilaajalle. Kuvassa 13 on esitetty alkuperäinen mitoituskelvoton systeemi.



KUVA 13. Eri ilmanvaihtokoneiden kanavia piirrettynä samalle systeemille

Muokattu mitoituskelppoinen systeemi leikkaussali 5 ilmanvaihtokoneesta IV-konehuoneesta on esitetty kuvassa 14. Leikkaussalin 2 konehuoneeseen jouduttiin tekemään samantapaiset muutokset, jotta leikkaussalin päätelaitteiden äänitasot voitiin mitoittaa.



KUVA 14. Mitoituskelppoiset tulo- ja poistokanavat leikkaussali 5:n ilmanvaihtokoneesta IV-konehuoneesta

Suunnitelmien muokkauksen jälkeen leikkaussalien poistoilman päätelaitteille saatiin ääniarvot. Leikkaussalin 5 poistokanavistoa ei saatu tasapainoon suunnitteluohjelmalla IV-suunnitelman mukaisella kanavaratkaisulla, koska säätöpellit ja päätelaitteet olivat epätasapainossa.

Suunnitelmissa leikkaussali 5 kanaviston äänenvaimentimet olivat yleistä mallia, jolla oktaavikaistoittainen vaimennus oli 45 dB jokaisella kaistalla. Tehdasvalmisteisista äänenvaimentimista ei löydy näin tehokasta äänenvaimenninta. Leikkaussalin 2 poistokanavistossa ei ole erillisiä äänenvaimentimia koneen ääniloukkujen lisäksi.

Leikkaussalien tulopuolen laminaarikattoja ei pystytty mitoittamaan ohjelmalla, koska ne olivat piirrettyjä kohteita eivätkä päätelaitteita. Kattojen valmistajalla ei ollut antaa minkäänlaisia äänitekniisiä arvoja kattojen kaistoittain aiheuttamasta äänitasosta, koska ne toimitetaan kohteen mukaan mittatilaustyönä. Kattojen äänitasot jouduttiin laskemaan käsin, missä otettiin huomioon suodattimien vaimennus.

3.5 Äänimittaukset

Äänimittaukset tehtiin LVI 014-10191 -ohjekortin ohjeita soveltaen ja mittauksissa käytettiin työntilaaajan Cesva SC-160 -äänitasomittaria. Ohjeen mukaisesti mittaukset tulisi suorittaa ovet ja ikkunat suljettuna, keskeltä oleskeluvyöhykettä, A-taajuuspainotettuna ja kolmesta eri kohdasta, joista lasketaan keskiarvo. Mittauksen tulee kestää vähintään yhden minuutin tai kauemmin, jos esiintyy suurta huojusta. (11, s. 1–3.)

Mittauksia yritettiin toteuttaa standardin mukaan, mutta salien tiiviin rakenteen vuoksi ovet jouduttiin pitämään auki. Salien suurista ilmavirroista johtuen ovien raot alkoivat viheltään, mikä aiheutti häiriötä mittauksiin. Mittauksia ei voitu tehdä kolmesta eri kohdasta salin oleskeluvyöhykkeellä, koska salien käyttöaste on korkea ja mittauksiin käytettävä aika oli rajallinen. Mittauksiin piti osallistua työn tilaajalta 2–3 työntekijää ja mittaukset piti tehdä ennen leikkaussalissa alkavaa leikkausta valmistelevaa toimintaa. Mittaukset suoritettiin leikkauspöydän päältä, ovet avoimena. Mittausaika oli 1 minuutti, jotta mittaukset pystyttiin suorittamaan niille varatussa aikataulussa.

Mittauksissa taustamelun arvot olivat todella suuret, minkä katsottiin johtuvan mittaus-tavasta. Taustamelun vaikutusta salien äänitasoihin käsiteltiin suuntaa antavana, koska ovien auki ollessa ei voitu erotella, mitkä äänet olivat salien sisäistä melua ja mitkä tulivat käytävästä.

4 MITTAUS- JA LASKENTATULOKSET

4.1 Suunnitelman mukaiset äänitasot

Suunnitelman mukaiset yksittäiset päätelaitteiden äänitasot eivät vaikuta suurilta mutta yhteisvaikutus kokonaisäänepainetasoon on huomattava. Leikkaussalien äänitasot on sovittu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2:n mukaan toimenpidehuoneen äänitasolle 33 dB:iin urakkasopimuksessa. Sovittuihin äänitasoihin ei päästy suunniteluilla kanavistoilla kummassakaan leikkaussalissa.

Äänitasojen laskennassa ja mittauksissa desibeliarvot on pyöristetty lähimpään kokonaislukuun, koska äänenvoimakkuus huojuu ja tarkkuusäänitasomittareiden hyväksyttävä hajonta on ± 1 dB (3, s.10).

4.2 Leikkaussali 2:n tulokset

MagiCADin laskemat äänitasot oktaavikaistoittain leikkaussali 2:n tuloilmakanavistolle on esitetty taulukossa 1. Hepa-suodattimien äänenvaimennusarvot oktaavikaistoittain saatiin työntilaajan suodatintoimittajalta. Oktaavikaistojen äänitasot laskettiin yhteen kaavalla 5, jotta tulopuolen kokonaisäänitaso saatiin määriteltä.

TAULUKKO 1. Tulokanaviston aiheuttama äänitaso leikkaussali 2:een

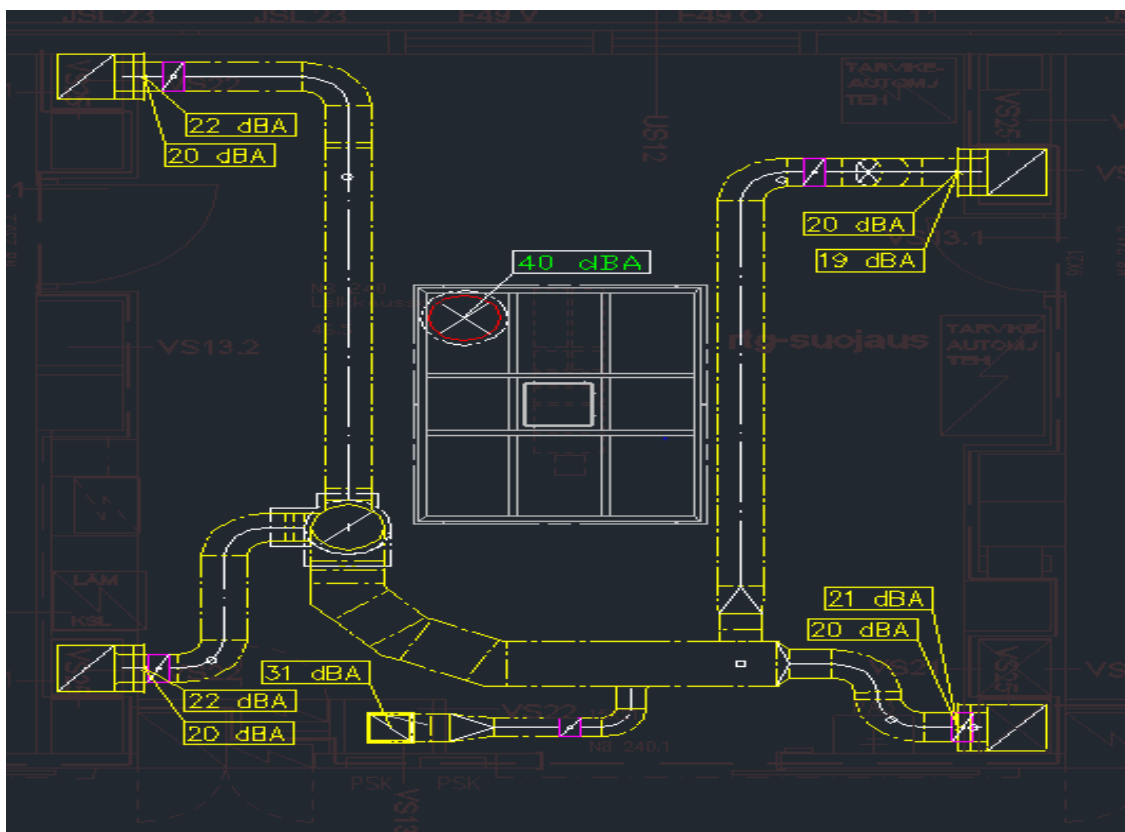
Tuloilmavirta 1000 l/s							
Taajuus oktaavikaistoittain [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Äänitasot ennen laminaarikattoa [dB]	54	43	39	37	43	37	35
A-painotus	-16	-9	-3	0	1	1	-1
Huoneabsorptio 10 m ²	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
Hepa-suodatin	-1	-1	-1	-2	-3	-6	-9
Salin äänitaso kaistoittain [dB(A)]	33	29	31	31	37	28	21
Tulokanaviston äänitaso [dB(A)]	40						

Poistopuolen päätelaitteiden ilmavirrat ja äänitasot ovat esitettyinä taulukossa 2. Äänitasot on laskettu yhteen logaritmisesti kaavan 5 mukaan, ja poistokanaviston kokonaisäänitaso on esitetty taulukon alimmaisella rivillä.

TAULUKKO 2. Poistoilmakanaviston aiheuttama äänitaso leikkaussaliin 2

Poistoilmalaite	Ilmavirta [l/s]	Äänitaso [dB(A)]
Fläktwoods AVS 400x800	105	20
Fläktwoods AVS 400x800	105	22
Fläktwoods AVS 400x800	105	19
Fläktwoods AVS 400x800	105	20
Fläktwoods AVS 400x800	105	21
Fläktwoods AVS 400x800	105	20
Fläktwoods AVS 400x800	105	22
Fläktwoods AVS 400x800	105	20
Fläktwoods AVS 300x300	120	31
Σ	960	33

Päätelaitteiden sijainti ja niiden aiheuttama äänitaso on esitetty kuvassa 15. Poistoilmapäätelaitteiden äänitasot ovat melko alhaiset, mutta piikin aiheuttaa AVS 300x300 -säleikkö, joka määrää poistopuolen laskennallisen alimman arvon, johon muut äänitasot lisätään.



KUVA 15. Päätelaitteiden aiheuttamat äänitasot leikkaussalissa 2

Ilmanvaihdon aiheuttama äänitaso leikkaussaliin saadaan laskemalla tulo- ja poistopuolen äänitasot logaritmisesti yhteen. Ohjelma ei ota huomioon huoneessa olevaa taustamelua vaan ilmoittaa päätelaitteiden absoluuttiset äänitasot. Tulo- ja poistopuolen logaritminen äänitasojen yhteenlasku on havainnollistettu alla kaavalla 5.

$$L = 10 \text{ dB} \cdot \lg \left(10^{\frac{40 \text{ dB}}{10 \text{ dB}}} + 10^{\frac{33 \text{ dB}}{10 \text{ dB}}} \right) = 41 \text{ dB}$$

Salin laskennallinen äänitaso, 41 desibeliä, on selvästi sovittua tasoa korkeampi. Tämä voitiin jo todeta salin tulopuolen äänitasosta, koska logaritmisessa yhteenlaskussa lisäys tapahtuu aina suurimpaan arvoon.

Leikkaussalin 2 äänimittausten tulokset on esitetty taulukossa 3. Sali taulukon lopussa tarkoittaa leikkaussalin kokonaisäänitasoa leikkauksen aikaisilla ilmavirroilla. Tulokanaviston äänitason arvon suuruus verrattuna koko saliin selittyy osaksi sillä, että poistopuhallinta ei voitu sammuttaa kokonaan, vaan se jää pyörimään 20 hertzin taajuudella, jos tulopuhallin on toiminnassa. Tällä ohjaustoiminnolla estetään taajuusmuuntimen ylikuumeneminen.

TAULUKKO 3. Äänimittausten tulokset leikkaussalista 2 (liite 2)

Leikkaussali 2	Tulokanavisto	Poistokanavisto	Taustamelu	Sali
Äänitaso [dB(A)]	45	43	42	45

Mitatusta kokonaisäänitasosta vähentämällä logaritmisesti kaavan 6 mukaan leikkaussalin taustamelu saadaan arvo 42 dB, joka on desibelin suurempi kuin suunnitteluratkaisussa.

4.3 Leikkaussali 5:n tulokset

Leikkaussali 5:lle suoritettiin samat äänitasojen laskennat MagiCADillä kuin leikkaussali 2:lle. Erona leikkaussalien välillä on, että tuloilma johdetaan kahdella kanavalla laminaarikattoon ja tämä tuli huomioida tulopuolen äänilaskuissa kaavan 5 mukaisesti. Säätöpellin paikka siirrettiin suunnitelmissa vastaamaan toteutusta, jotta äänilaskut ja mittaukset saatiin vertailukelpoisiksi. Säätöpellin siirto nosti sen säätämän kanavan kahden päätelaitteen äänitasoarvoja, mutta salin kokonaisäänitasoon niillä ei ollut merkitystä. Tulopuolen vasemman puoleisen kanavan äänitasot on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Vasemman puoleisen tulokanava äänitaso leikkaussalissa

Taajuus oktaavikaistoittain [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Äänitasot ennen laminaarikattoa [dB]	50	42	39	38	37	34	30
A-painotus	-16	-9	-3	0	1	1	-1
Huoneabsorptio 10 m ²	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
Hepa-suodatin	-1	-1	-1	-2	-3	-6	-9
Salin äänitaso kaistoittain [dB(A)]	29	28	31	32	31	25	16
Tulokanaviston äänitaso [dB(A)]	38						

Taulukossa 5 on esitetty oikean puoleisen tuloilmakanavan äänitasot.

TAULUKKO 5. Oikean puoleisen tulokanavan äänitaso leikkaussalissa

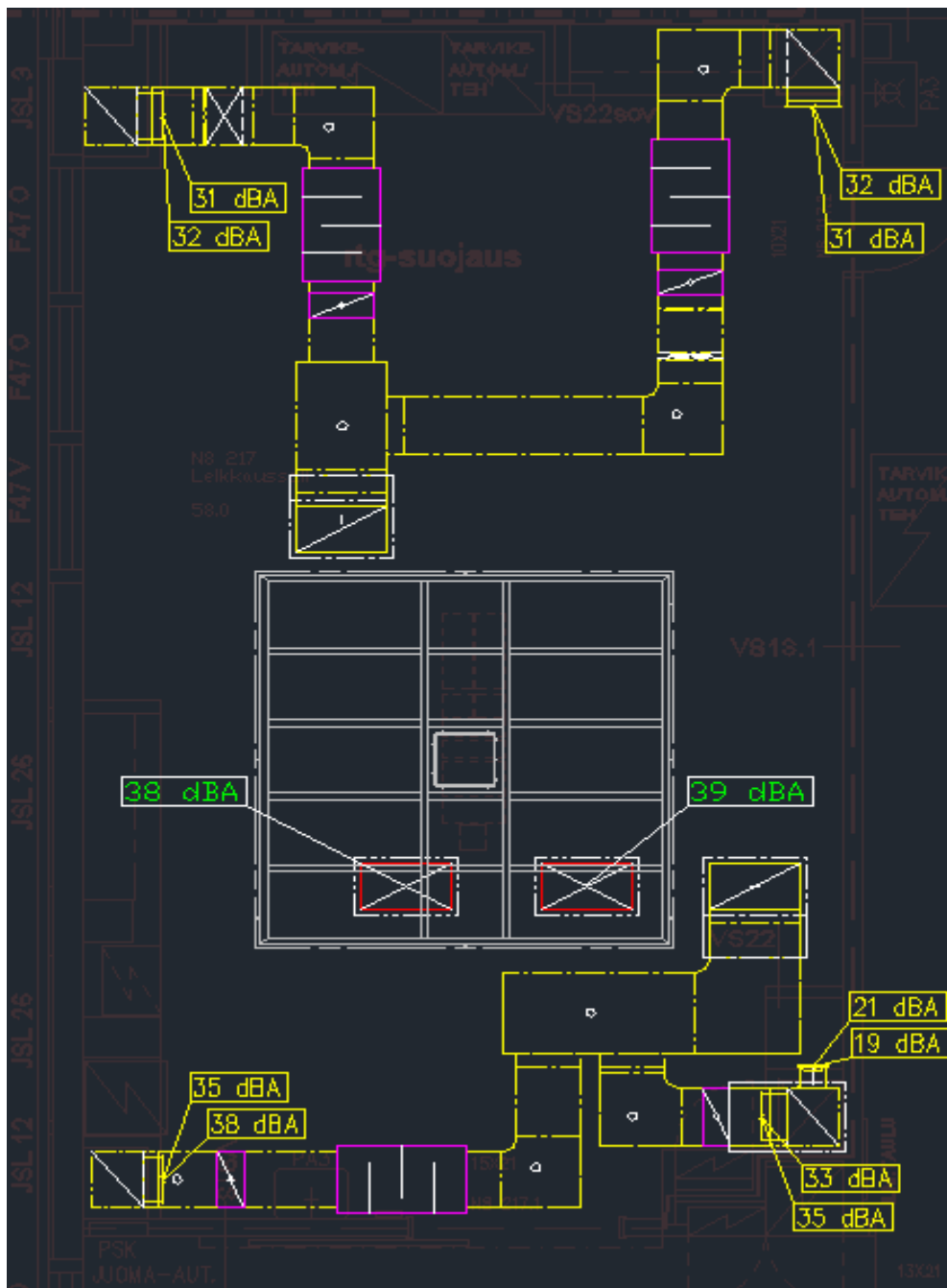
Taajuus oktaavikaistoittain [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Äänitasot ennen laminaarikattoa [dB]	52	43	41	39	38	36	32
A-painotus	-16	-9	-3	0	1	1	-1
Huoneabsorptio 10 m ²	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
Hepa-suodatin	-1	-1	-1	-2	-3	-6	-9
Salin äänitaso kaistoittain [dB(A)]	31	29	33	33	32	27	18
Tulokanaviston äänitaso [dB(A)]	39						

Poistopuolen päätelaitteiden leikkaussaliin aiheuttamat äänitasot ja ilmavirrat on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Leikkaussali 5 poistolaitteiden ilmavirrat ja äänitasot

Poistoilmalaite	Ilmavirta [l/s]	Äänitaso [dB(A)]
Fläktwoods AVS 400x800	355	31
Fläktwoods AVS 400x800	355	32
Fläktwoods AVS 400x800	355	31
Fläktwoods AVS 400x800	355	32
Fläktwoods AVS 400x800	355	35
Fläktwoods AVS 400x800	355	38
Fläktwoods AVS 400x800	355	33
Fläktwoods AVS 400x800	355	35
Fläktwoods KSO-200	60	19
Fläktwoods KSO-200	60	20
Σ	2960	43

Leikkaussalin päätelaitteiden sijainti ja niiden aiheuttama äänitasot on esitettynä kuvassa 16. Poistoilman päätelaitteet ovat päällekkäin salin nurkissa ja laminaarikatto keskellä salia leikkauspöydän päällä.



KUVA 16. Leikkaussalin 5 toteutettu ratkaisu

Leikkaussalin kokonaisäänitaso on yksittäisten päätelaitteiden aiheuttamien äänitasojen summa, joka laskettiin kaavalla 5. Salin laskennalliseksi kokonaisäänitasoksi saatiin 45 desibeliä, mikä ylittää leikkaussali 2:n tavoin sopimuksissa määritetyt äänitasot.

Mittausten äänitasot olivat leikkaussalissa 5 selvästi korkeammat kuin salissa 2. Salin kokonaisäänitasoksi saatiin mittauksissa 54 dB. Tulokanaviston mittauksissa poistopu-

hallin jäi pyörimään 20 Hz:n taajuudella niin kuin salissa 2, mikä häiritsi osaltaan tulopuolen mittauksia ja nosti sen äänitasoa. Leikkaussali 5:n äänimittausten tulokset on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Leikkaussali 5:n äänimittausten tulokset (liite 3)

Leikkaussali 5	Tulokanavisto	Poistokanavisto	Taustamelu	Sali
Äänitaso [dB(A)]	54	52	50	54

Kun suunnitelmien laskennalliseen kokonaisäänitasoon lisättiin mitattu taustamelu logaritmisella yhteenlaskulla, päästiin arvoon 51 desibeliä, joka on 3 desibeliä alempi kuin mitattu kokonaisäänitaso leikkaussalissa. Eron arvojen välillä arvioitiin johtuvan mittarin tarkkuudesta, mittaustavasta ja koko mittauksen ajan laskevasta taustamelusta, johon vaikuttivat käytävästä kantautuvat äänet.

5 RATKAISUMALLIT

Työssä kokeiltiin vaihtaa suunnitelman kanavalaitteita eri valmistajien vastaaviin tuotteisiin ja omatekoiset äänenvaimentimet korvattiin tehdasvalmisteisilla, mutta näillä muutoksilla salien äänitasot eivät juurikaan muuttuneet. Yhtenä alkuolettamuksena oli, että ilmanvaihtokoneiden äänet kantautuisivat saleihin, mutta tämä oletamus osoittautui vääräksi. Koneääniä poistaminen ohjelman systeemeistä ei vaikuttanut leikkaussalien äänitasoihin, mikä sulki pois koneääniä kantautumisen saleihin. Opinnäytetyön tutkimusten, laskujen ja mittausten perusteella tultiin johtopäätökseen, että ääni muodostuu kanavistossa ja siihen asennetuissa kanavalaitteissa.

Mittausten perusteella taustamelun äänitaso on todella merkittävä salien äänikentässä. Taustamelun arvo on määritelty mittausten perusteella ja sitä käytettiin laskennassa. On huomioitava, että taustamelun tarkkaa absoluuttista arvoa ei voitu todentaa, koska käytävän äänitasoja ei voitu eritellä mittaustuloksista. Jotta salien äänimaailma saatiin mahdollisimman totuuden mukaiseksi, taustamelu tuli huomioida laskuissa. Laskennan tulokset perustuvat suunnitelmien äänianalyysiin ja mittauksien tarkoitus oli toimia laskennan tukena.

Logaritmisessa yhteenlaskussa, jota käytetään äänitasojen laskemiseen, suurin äänitason arvo määrää koko tarkasteltavan tilan minimiarvon, koska muiden äänitasojen arvot lisätään siihen. Tämän perusteella voitiin todeta, että jos taustamelu, joka aiheutuu leikkaussalin sairaalatekniikasta, ylittää tilalle määrätyn äänitason, sitä ei voida muiden järjestelmien äänitasoja alentamalla saada matalammaksi.

Äänenvaimentimet ovat leikkaussali 5 suunnitelmissa yleistä mallia, ja niiden oktaavikaistoittaiset vaimennusarvot ovat todella korkeat. Asennusvaiheessa äänenvaimentimet on toteutettu kanavaan asennetuilla Dacron-lamelleilla ilman kanavan laajennuksia. Äänenvaimentimien oktaavikaistoittaista vaimennusta ei voida arvioida, ja pahimmassa tapauksessa näistä äänenvaimentimista tulee äänen tuottajia.

Leikkaussali 2:n poistopuolella ei ole äänenvaimentimia, mutta yhden säleikön, AVS 300x300 äänitaso on muita selvästi suurempi ja määrää logaritmiselle yhteenlaskulle lähtöarvon, johon muut äänitasot lisätään. Äänitasoa saadaan alhaisemmaksi asentamalla päätelaitteen jälkeen äänenvaimennin.

Säätöpeltien sijoittelu suunnitelmissa ei täytä suojaetäisyyksiä ilmavirtauksen häiriökohdista. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että säätöpeltiä ennen tulisi olla vähintään neljä kertaa ja sen jälkeen kaksi kertaa kanavan halkaisijan verran suoraa kanavaa. Leikkaussalissa 5 säätöpelleistä yksi on asennettu omatekoisen äänenvaimentimen jälkeen. Äänenvaimentimen läpi kulkevan ilmavirran otsapintanopeutta ei tiedetä, joten on mahdollista, että ilmavirta tulee suihkuvirtauksena säätöpeltiin ja nostaa äänitasoa. Salin 5 poistokanavistoa ei saatu suunnitteluohjelmalla tasapainoon ja asennetussa poistokanavistossa säätöpellit jouduttiin avaamaan täysin auki äänitasojen madaltamiseksi. Poistokanaviston osalta tämä tarkoittaa sitä, että päätelaitteiden poistamat ilmamäärät eivät vastaa suunniteltuja arvoja vaan edullisimmalla paikalla olevat päätelaitteet poistavat suurempia ilmamääriä. Ilmamäärien kasvu ilman kanavan poikkipinta-alan kasvattamisesta nostaa ilman virtausnopeutta, joka nostaa kanaviston äänitasoja.

Näiden edellä mainittujen työssä huomattujen poikkeavuuksien pohjalta listattiin ratkaisuehdotuksia kummallekin leikkaussalille. Ratkaisuehdotukset leikkaussalien 2 ja 5 äänitasojen alentamiseksi:

- Kanttikanaavat korvataan pyöreällä kanavalla.
- Poistokanavisto muokataan siten, että säätöpeltien paikat muutetaan vastaamaan valmistajan suosittelemia suojaetäisyyksiä.
- Leikkaussali 2:n poistokanavistoon lisätään tehdasvalmisteiset äänenvaimentimet säätöpeltien ja päätelaitteiden väliin. Tämäkin toimenpide vaatii kanaviston muokkausta.
- Leikkaussali 5:n äänenvaimentimet korvataan tehdasvalmisteisilla.
- Leikkaussali 5:n vastakkaiset sälepellit vaihdetaan yhdensuuntaisiksi sälepeliksi.
- Tulopuolen kanavistoihin lisätään sekundääri äänenvaimentimet.
- Laminaarikattojen paineen taseus tarkistetaan, jotta suodattimien läpi virtaaman ilman nopeus on valmistajan suosituksen mukainen.

6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksen oli selvittää leikkaussalien korkeiden äänitasojen syy ja antaa ratkaisuehdotukset ääniongelmien korjaamiseen. Tämä opinnäytetyö sijoittuu tyypiltään tutkimustyön ja suunnittelutyön välille, koska se sisältää vaihtoehtoisten ratkaisumallien vertailua ja niiden vaikutusta salien äänitasoihin ja suunnitteluratkaisuun. Keskeiset menetelmät, joita käytettiin tätä työtä tehtäessä, olivat ilmanvaihtokoneiden ja kanaviston tarkistaminen suunnitelmia vastaavaksi, ilmenneiden kanavapoikkeavuuksien mallintaminen suunnitteluohjelmalla, äänitasojen mittaaminen ja niiden logaritminen laskeminen yhteen.

Työn perusteella voidaan sanoa, että leikkaussalien suunnittelu poikkeaa suuresti tavanomaisista kohteista ja vaatii suunnittelijalta erikoisosaamista. Leikkaussalien ilmamäärät ovat kasvaneet viime vuosikymmeninä, millä on pyritty korkeampaan sisäilman hygieniatasoon. Salien ilmavirtojen suuruutta, 1 ja 3 m³/s on vaikea käsittää, mutta kun niitä verrataan esimerkiksi kokonaisen osaston ilmavirtoihin, jotka ovat noin 1,8–2 m³/s ja pinta-alat moninkertaiset leikkaussaleihin nähden, saadaan käsitys vaihtuvan ilman määrästä. Leikkaussalien sairaalatekniikan lisääntyminen nostaa salien taustamelutasoa ja lisää salista poistettavaa lämpökuormaa.

Salien suunnitteluratkaisujen äänitasot ylittävät urakkasopimuksessa sovitut enimmäisäänitasot, jotka pystyttiin osoittamaan, kun suunnitelmat saatiin siistittyä siten, että ohjelmallinen mitoitus onnistui. Yksittäisten päätelaitteiden aiheuttamat äänitasot ovat suhteellisen alhaiset, mutta niiden aiheuttama kokonaisäänitaso ylittää sovitut arvot. Leikkaussalin 2 suunnitelmien kokonaisäänitaso oli 41 ja äänimittauksissa saatu arvo oli 45 desibeliä. Kun mitatusta kokonaisäänitasosta vähennettiin taustamelun äänitaso, salin äänitasoksi saatiin 42 desibeliä, joka vastaa suunnitelman äänitasoa. Desibelin eron katsottiin johtuvan mittaustavasta ja mittarin sekä taustamelun arvon epätarkkuudesta.

Leikkaussali 5:n suunnitelman ja mitatun kokonaisäänitason ero oli suurempi kuin salissa 2. Suunnitelman ja mitatun kokonaisäänitason erotus oli 7 desibeliä, kun taustamelun osuus vähennettiin mitatusta kokonaisäänitasosta. Erolle ei löytynyt selvää syytä, mutta sen arveltiin johtuvan mittaustavasta: ovet piti pitää auki, jolloin käytävän äänet häiritsivät mittausta. Mitattujen äänitasojen, ohjelmalla ja käsin laskettujen tulosten perus-

teella suurin äänen aiheuttaja leikkaussaleihin on ilmanvaihtokanavisto ja päätelaitteiden suuri määrä yhdessä huonetilassa.

Leikkaussalien äänitasojen madaltamiseksi ilmanvaihtokanaviston muotoa tulee muuttaa. Kanttikanavat korvataan pyöreällä kanavalla, millä on paremmat virtausominaisuudet. Säätöpeltien paikkoja siirretään vastaamaan valmistajan ohjeita ja kanavistojen äänenvaimentimet vaihdetaan tehdasvalmisteisiin.

LÄHTEET

1. D2 (2012). 2011.Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä: 04.08.2013.
2. 14 Äänioppi. Opintojaksomateriaali kevät 2009. Jyväskylän yliopisto, liikuntabiologian laitos. Saatavissa: https://staff.jyu.fi/Members/peltsi/opetus/BMEP003/dokumentit/luennot_osa2_2/at_download/file. Hakupäivä: 04.08.2013.
3. Halme, Alpo–Seppänen, Olli 2002. Ilmastoinnin äänitekniikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
4. Inkinen, Pentti–Manninen, Reijo–Tuohi, Jukka 2009. Momentti 2, Insinöörifysiikka. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.
5. Puhallintekninen käsikirja. 2007. Fläkt Woods Oy.
6. Lahti, Tapio 1995. S-89.3430 Akustinen mittaustekniikka L 5 op. Opintojakson opimateriaali keväällä 2012. Espoo: Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu, Signaalinkäsittely ja akustiikan laitos. Saatavissa: https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/s-89.3430/materiaali/S-89_3430_akustinen_mittaustekniikka.pdf. Hakupäivä: 04.08.2013.
7. Tekninen käsikirja - Ilmankäsittelykoneet 2010. Fläkt Woods Oy.
8. Starck, Jukka–Teräsvirta, Laura 2009. Melu. Tampere: Esa Print Oy
9. DIF-OT Laminaarikatto. 2012. Tekninen esite. Fläkt Woods Oy. Saatavissa: <http://www.flaktwoods.fi/c1f4a7ae-2266-4099-9425-b2b226cf8057>. Hakupäivä 19.08.2013.
10. Leikkaussali-ilmastointi. 2009. Kojair Tech Oy. Saatavissa: <http://www.kojair.com/fi/tuotteet/sairaalatuotteet/leikkaussali-ilmastointi>. Hakupäivä 18.08.2013.

11. LVI 014-10191. 1992. Standardi (SFS 5517). Ilmastointi, ilmastointijärjestelmän vastaanottomittaukset, äänimittaukset. Suomen standardisoimisliitto SFS. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/tuote.html.stx?RANEget=/index&tuote=/LVI8358>. Hakupäivä: 18.08.2013.

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Mikko Honkala _____

Tilaaja Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiirin kuntayhtymä _____

Tilaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot Kuisma Meskus , 08-3156418 _____

Kajaanintie 50, 90220 Oulu _____

Työn nimi Leikkaussalien ääniongelmat _____

Työn kuvaus Opinnäytetyössä on tarkoitus selvittää Oulun yliopistollisen sairaalan avo-
hoitotalon leikkaussalien ääniongelmat. Ongelmaa selvitetään teoreettisesti
ja sen jälkeen tehdään korjausehdotukset, jotka toteutetaan. Insinööritöä ra-
jataan koskemaan kahta leikkaussalia. _____

Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on hakea ratkaisut leikkaussaleissa ilmeneviin ääniongel-
miin. _____

Tavoiteaikataulu _____

Päiväys ja allekirjoitukset _____

05.11.2012 _____

Mikko Honkala Juhani Kettunen

LEIKKAUKSEN AIKAISET ILMAVIRRAT

Numeerinen Analysaattori-C:\Program Files\CESVA Capture Studio\Files\T224268_2013-05-24_07-10-12_005_RTA.ccf

24.5.2013 7:11:08

T:00:00:57

	31,5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz
LT:	11,6	23,7	32,0	38,2	38,1	38,6	38,7	36,0	24,6	14,0
Lpeak:	23,6	36,8	45,1	52,1	54,1	59,6	67,5	63,8	50,0	33,7
LZT:	82,6 dBZ									
LAT:	45,0 dBA									
LCT:	58,0 dBC									
LZTpeak:	98,6 dBZ									
LATpeak:	70,7 dBA									
LCTpeak:	76,1 dBC									

Kaikki mittaustiedot

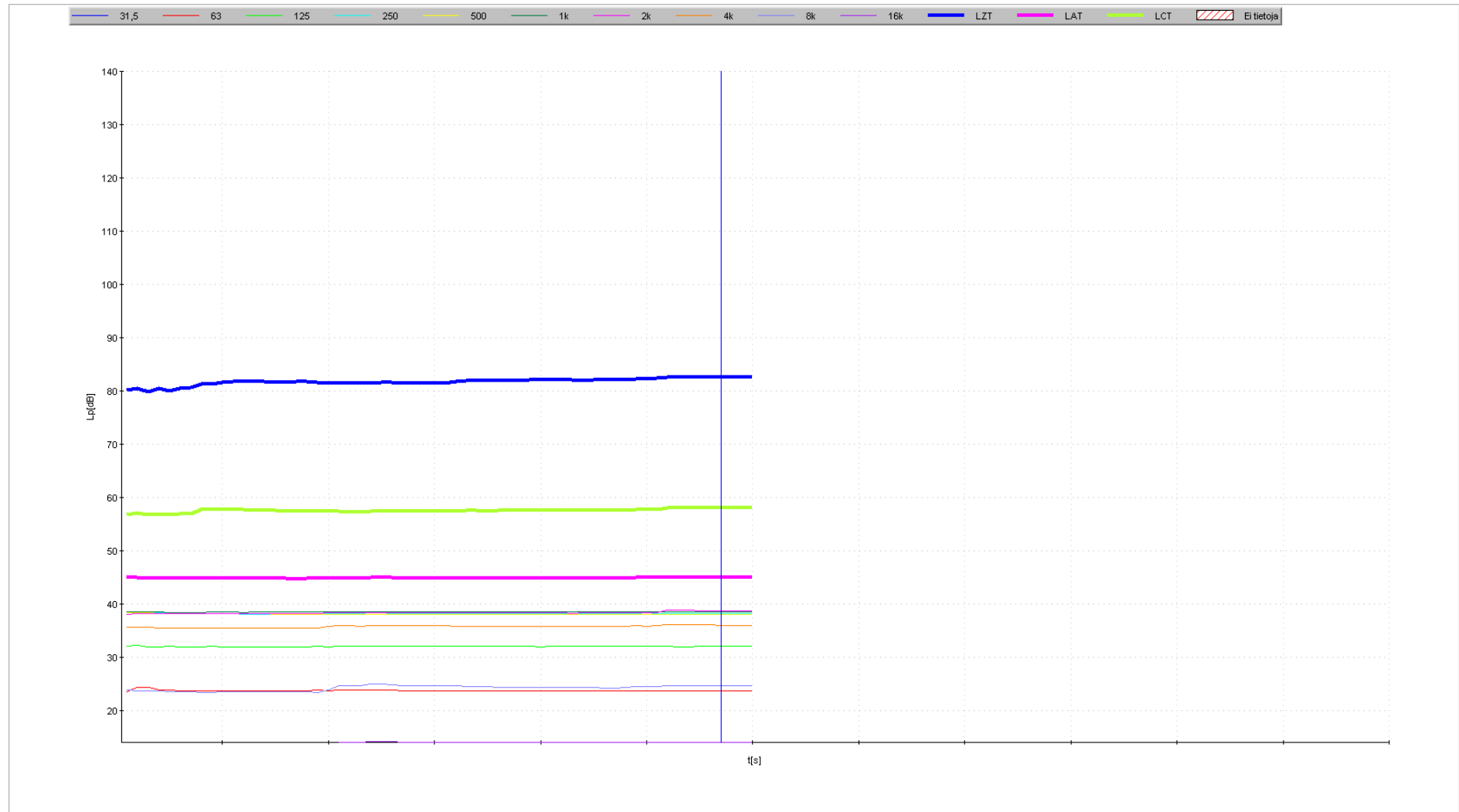
Kesto: 0000:01:00

Aloitus: 24.5.2013 7:10:12

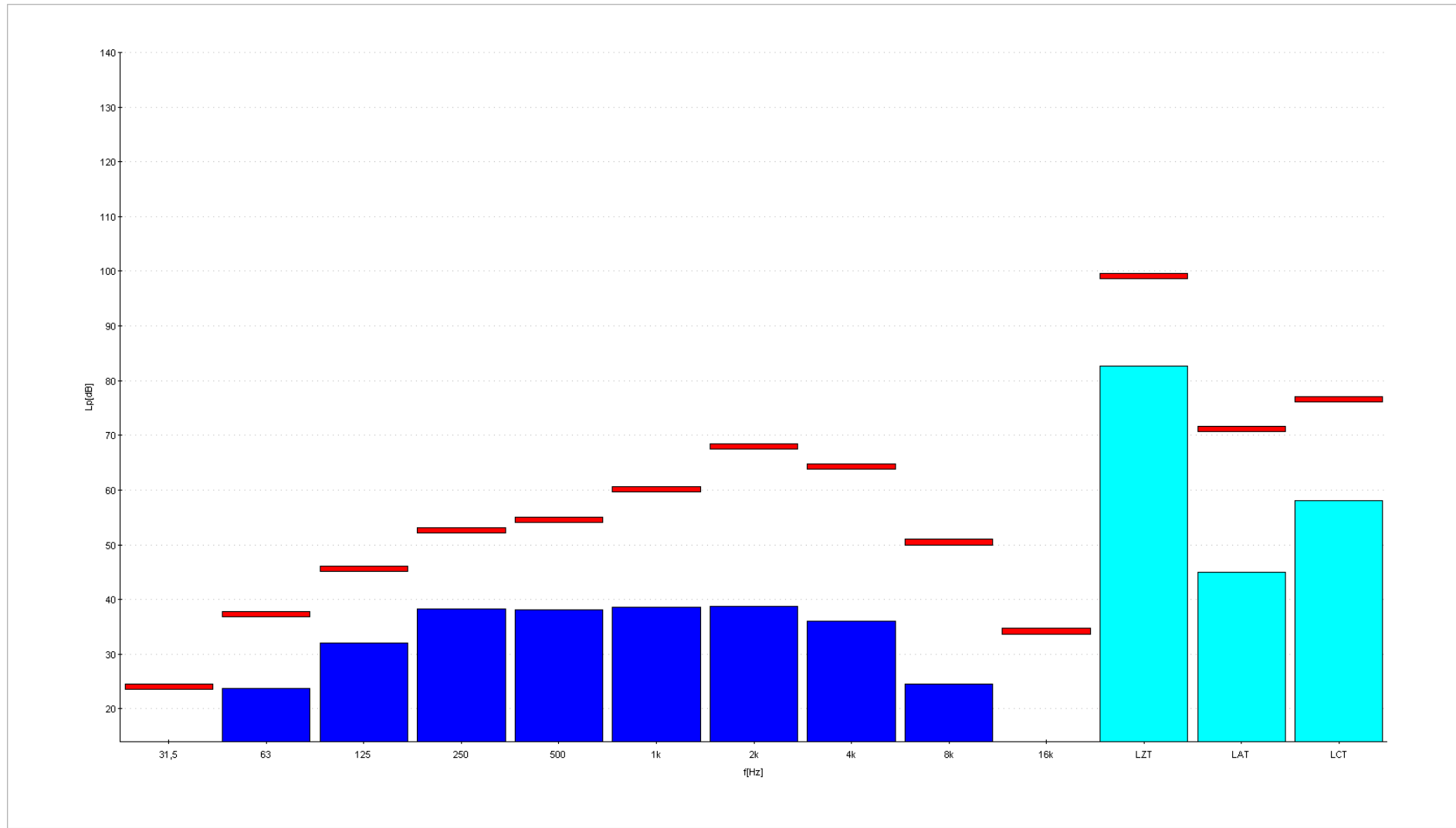
Lopetus: 24.5.2013 7:11:11

Taajuuspainotuksen kertoimien haku : A

LEIKKAUKSEN AIKAISET ILMAVIRRRAT



LEIKKAUKSEN AIKAiset ILMAVIRRAT



POISTO PÄÄLLÄ

Numeerinen Analysaattori-C:\Program Files\CESVA Capture Studio\Files\T224268_2013-05-24_07-13-52_006_RTA.ccf

24.5.2013 7:14:46

T:00:00:55

	31,5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz
LT:	10,8	20,6	29,5	36,3	36,3	35,7	35,3	35,5	28,0	16,9
Lpeak:	22,2	33,6	44,1	56,8	56,3	59,6	62,3	63,8	60,3	50,7
LZT:	84,5 dBZ									
LAT:	42,9 dBA									
LCT:	57,6 dBC									
LZTpeak:	98,1 dBZ									
LATpeak:	68,2 dBA									
LCTpeak:	72,7 dBC									

Kaikki mittaustiedot

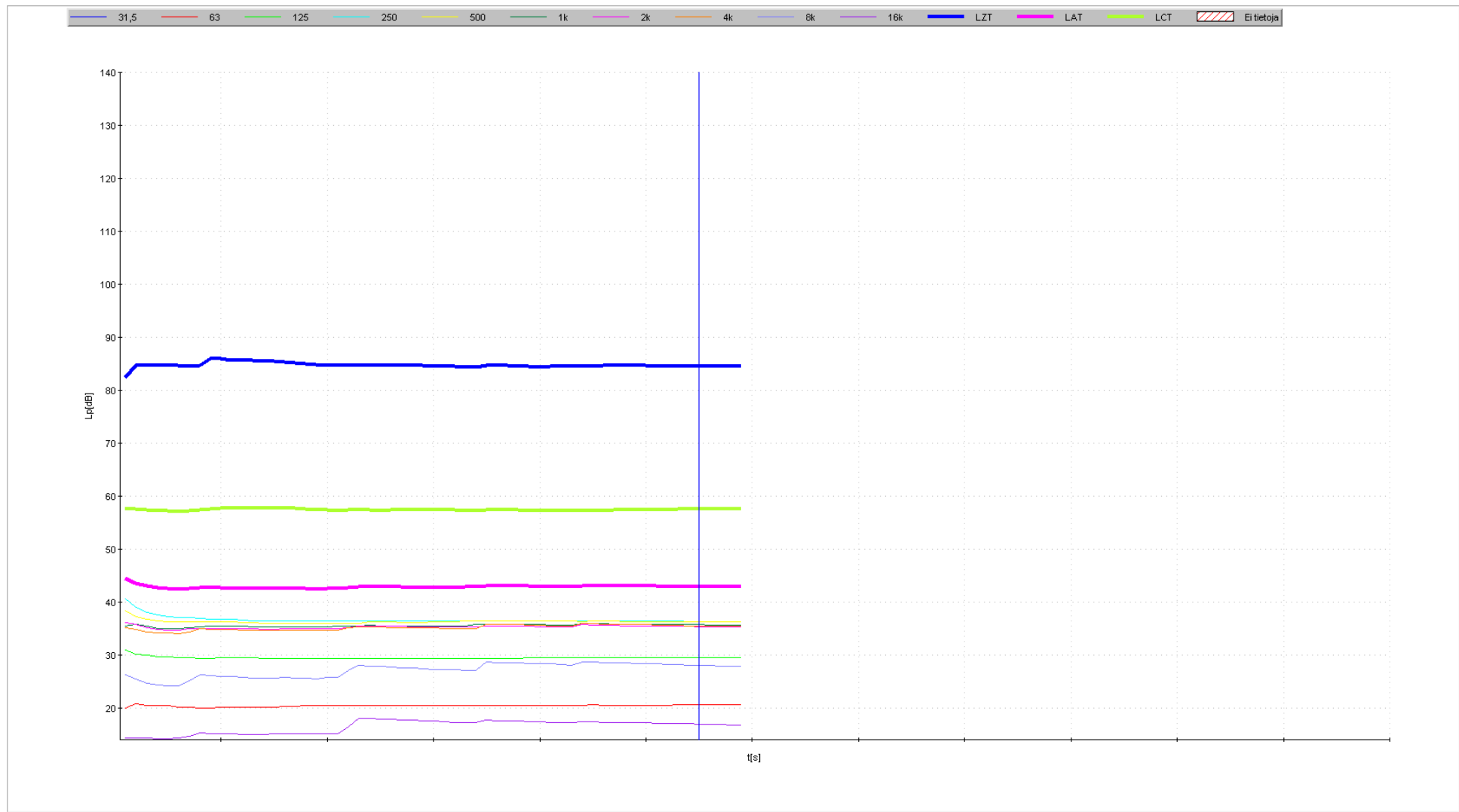
Kesto: 0000:00:59

Aloitus: 24.5.2013 7:13:52

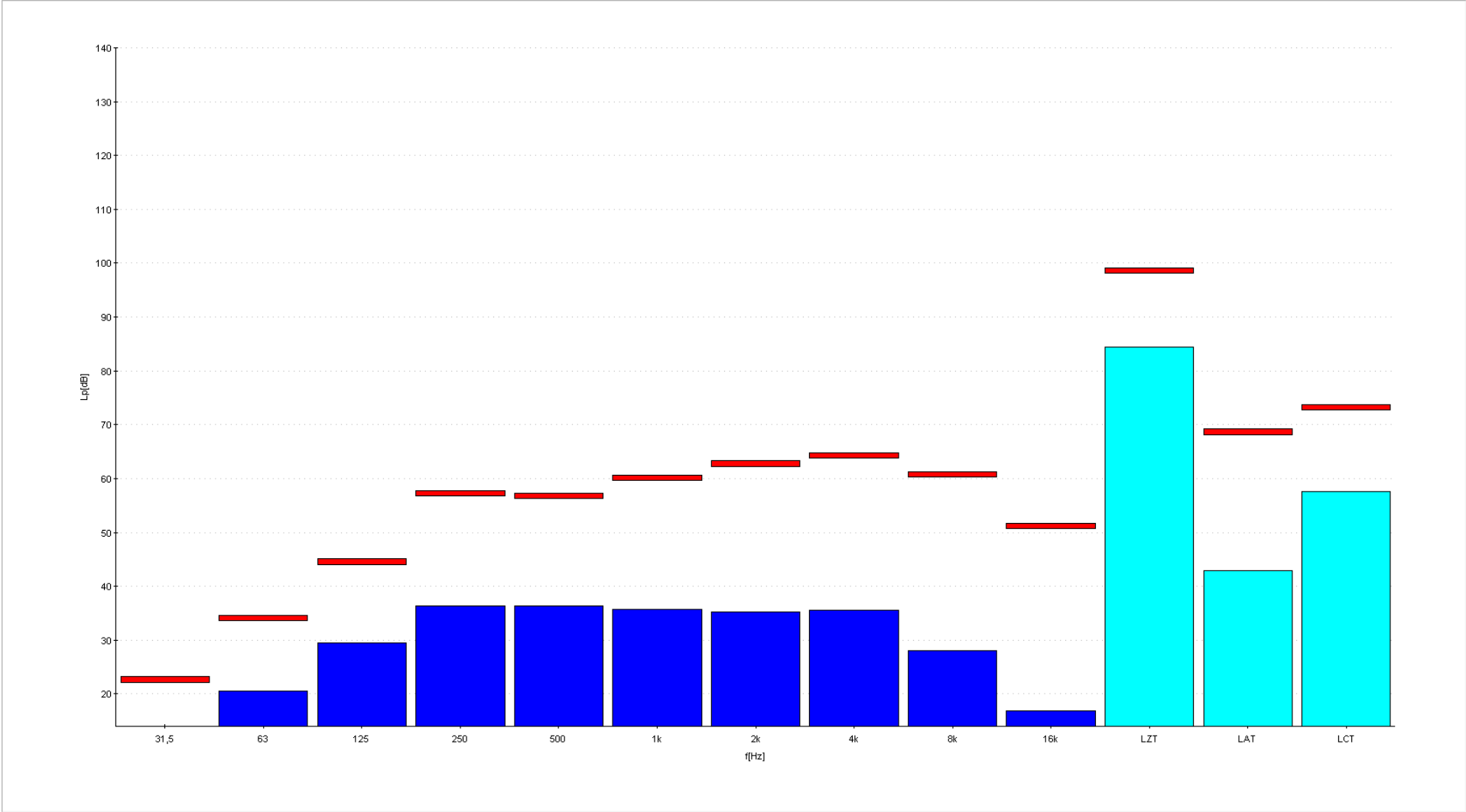
Lopetus: 24.5.2013 7:14:50

Taajuuspainotuksen kertoimien haku : A

POISTO PÄÄLLÄ



POISTO PÄÄLLÄ



TULO PÄÄLLÄ

Numeerinen Analysaattori-C:\Program Files\CESVA Capture Studio\Files\T224268_2013-05-24_07-19-04_007_RTA.ccf

24.5.2013 7:19:57

T:00:00:54

	31,5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz
LT:	10,2	22,3	30,6	39,2	37,7	37,6	37,5	35,1	23,3	13,9
Lpeak:	22,5	35,4	44,4	57,7	64,0	54,4	57,9	54,1	41,8	34,9
LZT:	85,2 dBZ									
LAT:	44,5 dBA									
LCT:	58,1 dBC									
LZTpeak:	96,3 dBZ									
LATpeak:	66,3 dBA									
LCTpeak:	72,5 dBC									

Kaikki mittaustiedot

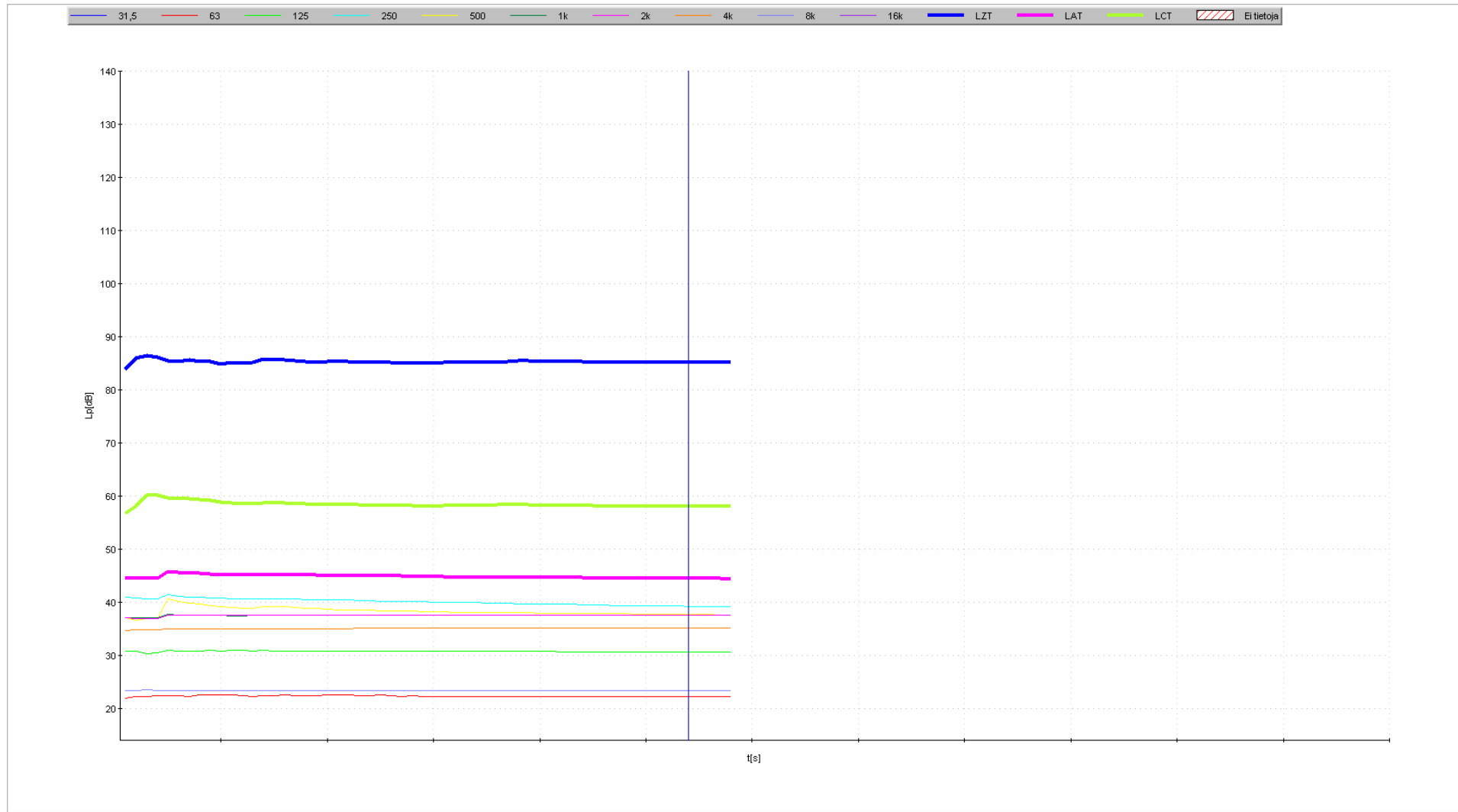
Kesto: 0000:00:58

Aloitus: 24.5.2013 7:19:04

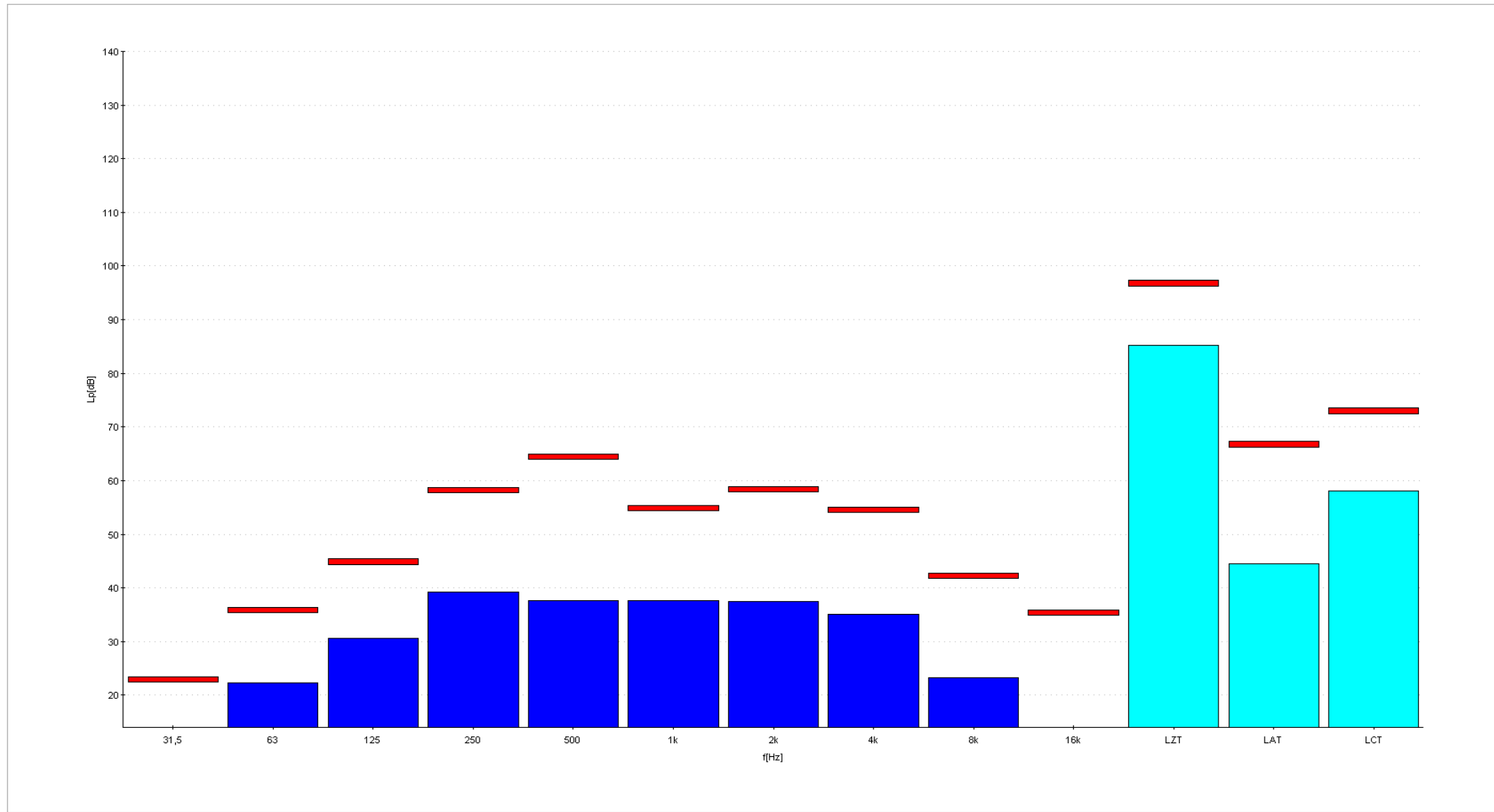
Lopetus: 24.5.2013 7:20:01

Taajuuspainotuksen kertoimien haku : A

TULO PÄÄLLÄ



TULO PÄÄLLÄ



TAUSTA MELU

Numeerinen Analyysaattori-C:\Program Files\CESVA Capture Studio\Files\T224268_2013-05-24_07-23-42_009_RTA.ccf

24.5.2013 7:24:35

T:00:00:54

	31,5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz
LT:	8,6	19,6	29,1	35,7	36,5	34,4	34,1	33,6	22,9	13,7
Lpeak:	20,0	32,7	42,0	48,8	49,8	48,9	50,6	48,5	41,4	27,9
LZT:	83,0 dBZ									
LAT:	41,9 dBA									
LCT:	56,8 dBC									
LZTpeak:	96,5 dBZ									
LATpeak:	55,7 dBA									
LCTpeak:	71,2 dBC									

Kaikki mittaustiedot

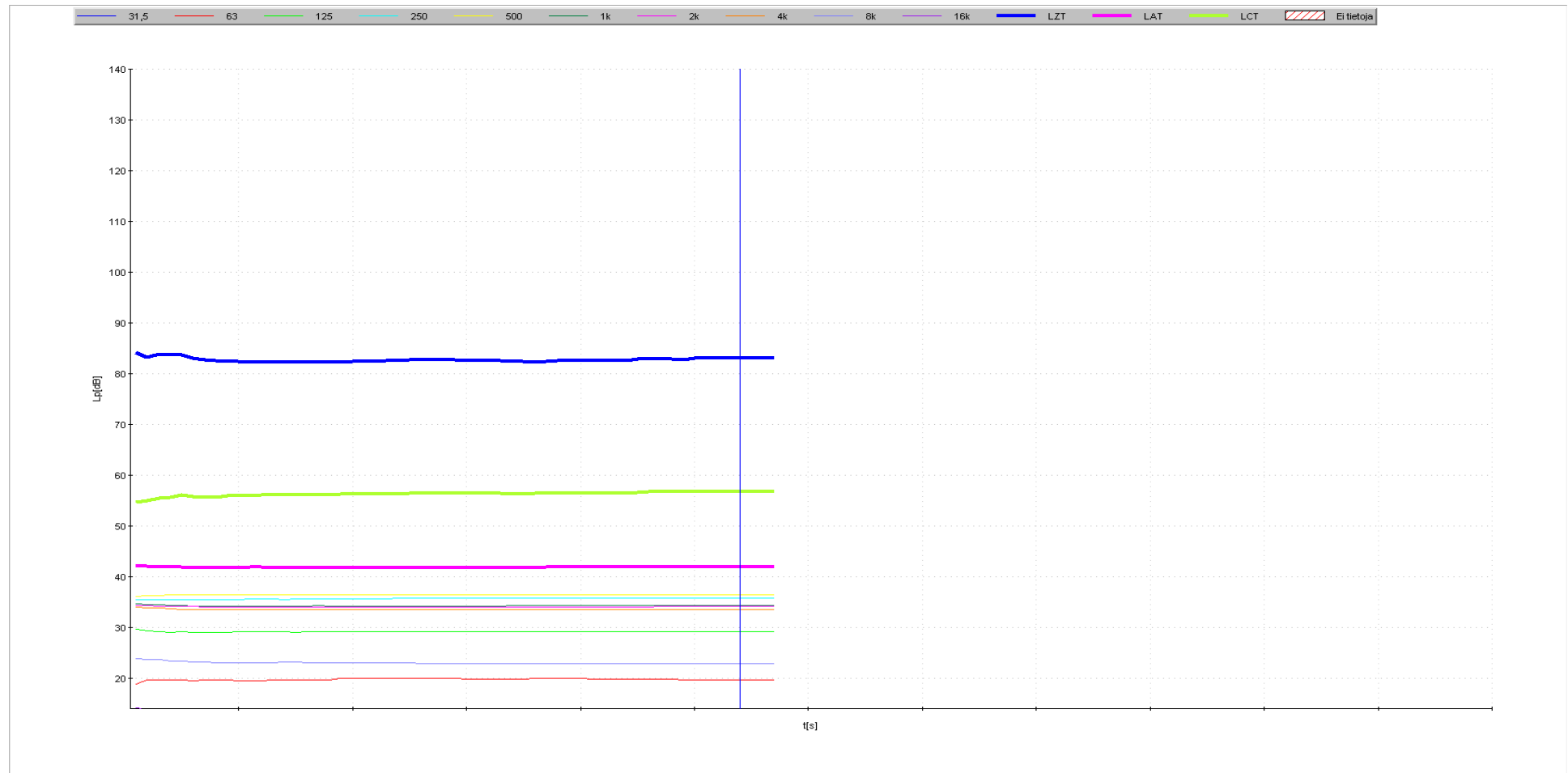
Kesto: 0000:00:57

Aloitus: 24.5.2013 7:23:42

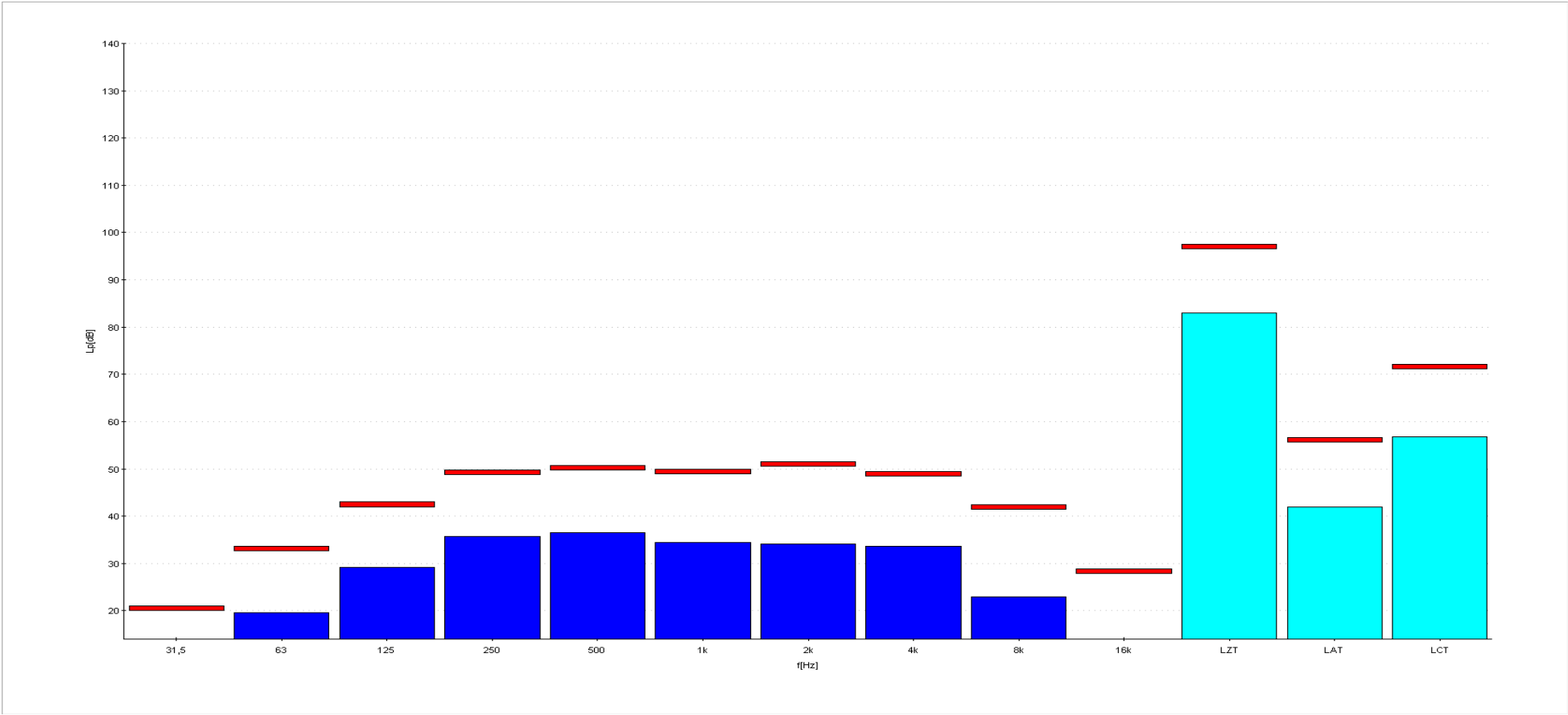
Lopetus: 24.5.2013 7:24:38

Taajuuspainotuksen kertoimien haku : A

TAUSTA MELU



TAUSTA MELU



LEIKKAUKSEN AIKAISET ILMAVIRRAT

Numeerinen Analysaattori-C:\Program Files\CESVA Capture Studio\Files\T224268_2013-05-23_07-41-41_004_RTA.ccf

23.5.2013 7:42:33

T:00:00:53

	31,5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz
LT:	22,6	26,9	40,5	41,1	45,4	48,1	47,6	47,4	36,2	23,5
Lpeak:	37,2	40,5	53,6	53,9	74,1	82,9	86,2	90,7	78,2	65,7
LZT:	86,4 dBZ									
LAT:	53,7 dBA									
LCT:	64,0 dBC									
LZTpeak:	99,4 dBZ									
LATpeak:	93,8 dBA									
LCTpeak:	93,6 dBC									

Kaikki mittaustiedot

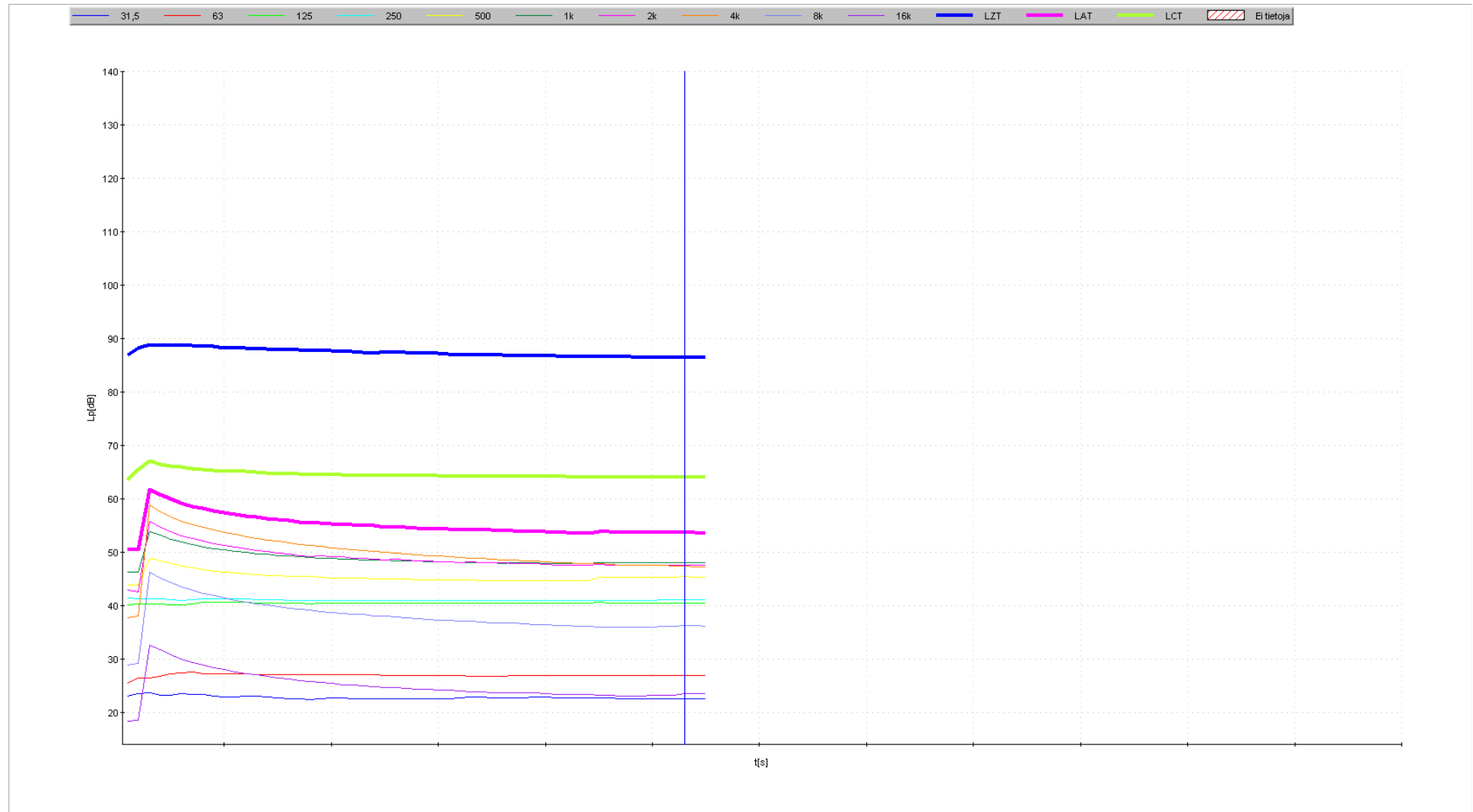
Kesto: 0000:00:55

Aloitus: 23.5.2013 7:41:41

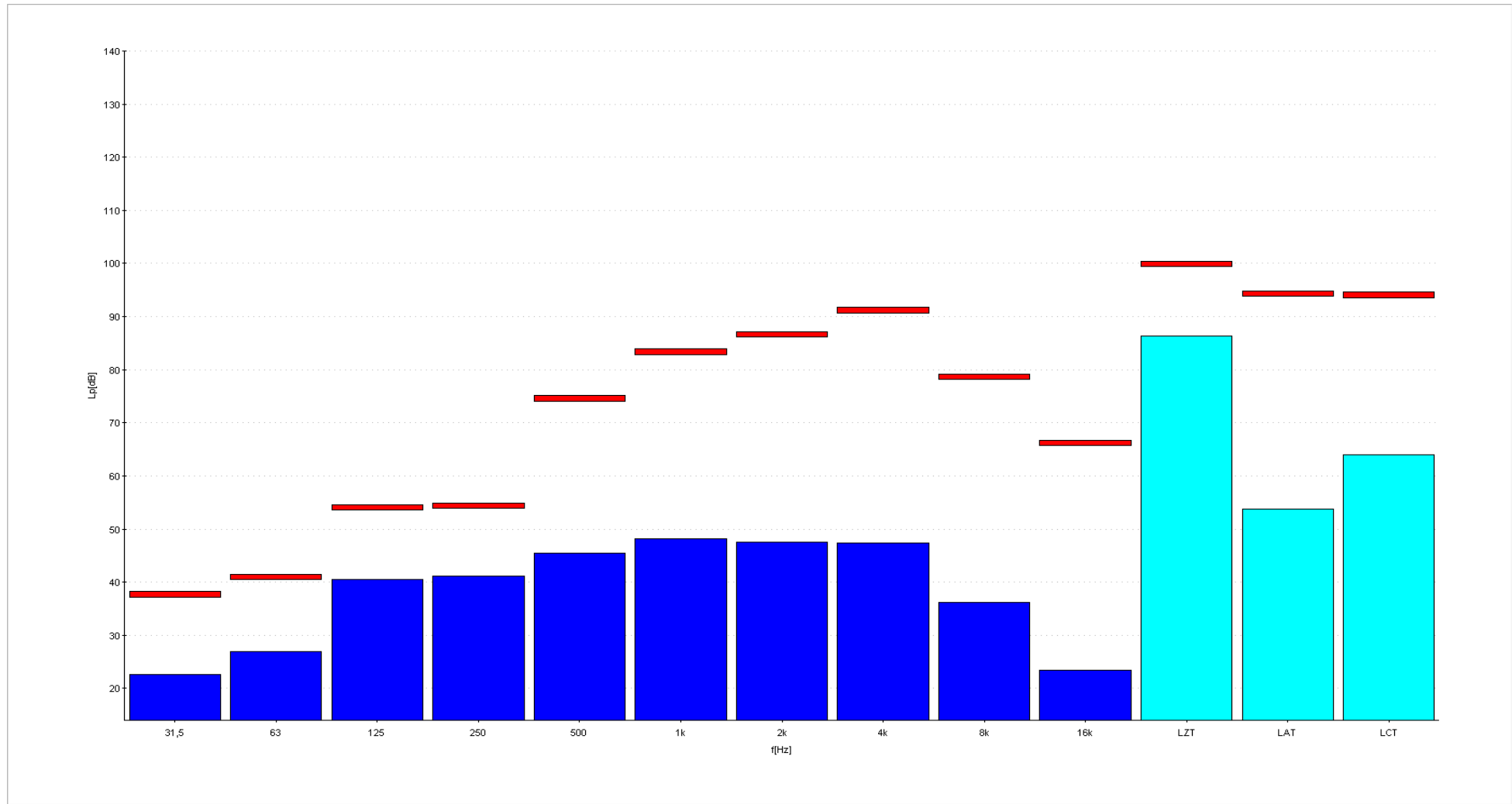
Lopetus: 23.5.2013 7:42:35

Taajuuspainotuksen kertoimien haku : A

LEIKKAUKSEN AIKAiset ILMAVIRRRAT



LEIKKAUKSEN AIKAiset ILMAVIRRRAT



POISTO PÄÄLLÄ

Numeerinen Analysaattori-C:\Program Files\CESVA Capture Studio\Files\T224268_2013-05-24_07-39-22_010_RTA.ccf

24.5.2013 7:40:19

T:00:00:58

	31,5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz
LT:	23,0	26,7	41,4	43,9	44,9	45,3	45,5	41,7	35,0	24,4
Lpeak:	43,0	46,7	68,4	70,8	71,7	83,8	81,0	78,6	71,2	63,7
LZT:	89,5 dBZ									
LAT:	51,8 dBA									
LCT:	65,7 dBC									
LZTpeak:	107,7 dBZ									
LATpeak:	86,9 dBA									
LCTpeak:	94,1 dBC									

Kaikki mittaustiedot

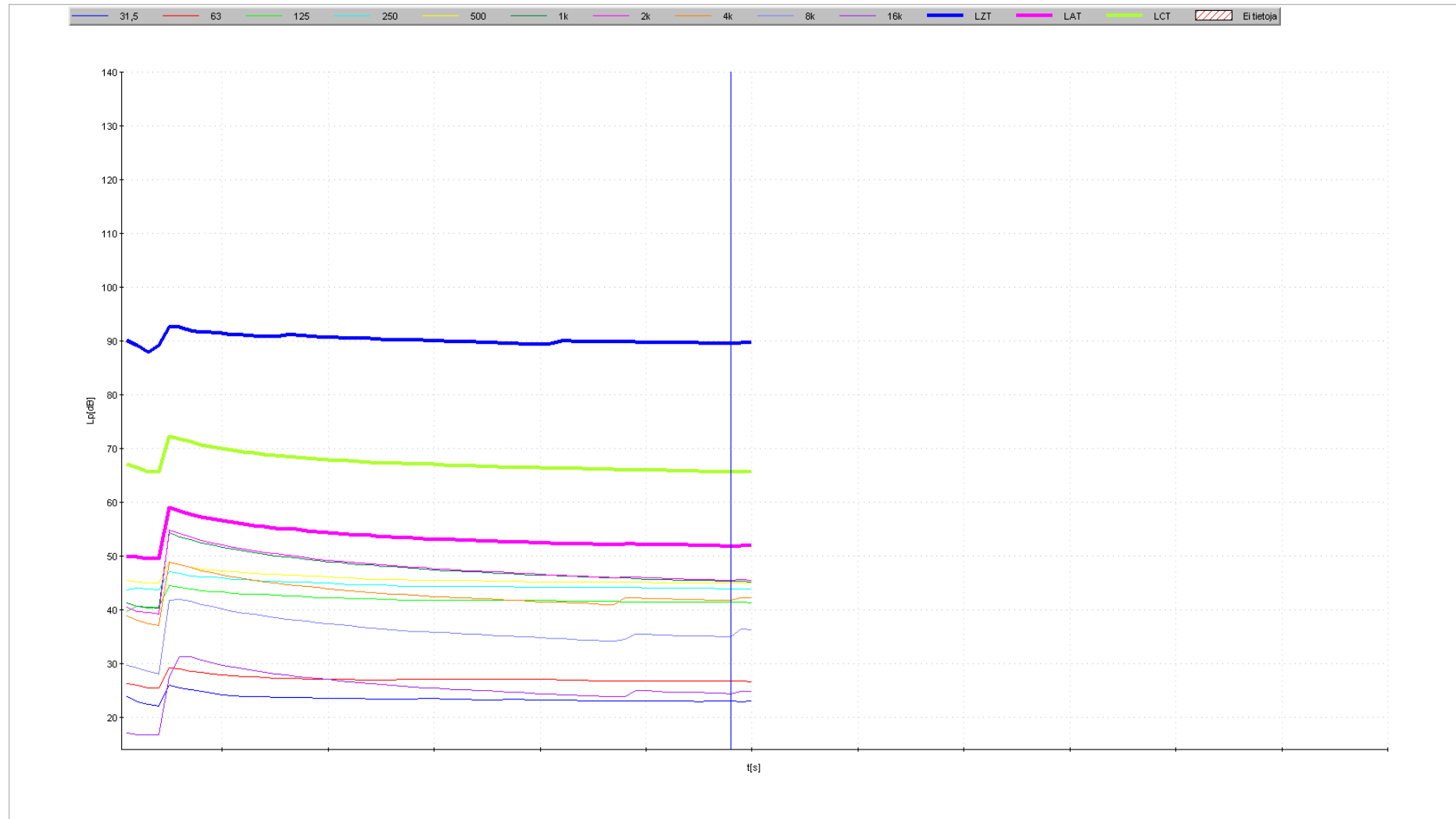
Kesto: 0000:01:00

Aloitus: 24.5.2013 7:39:22

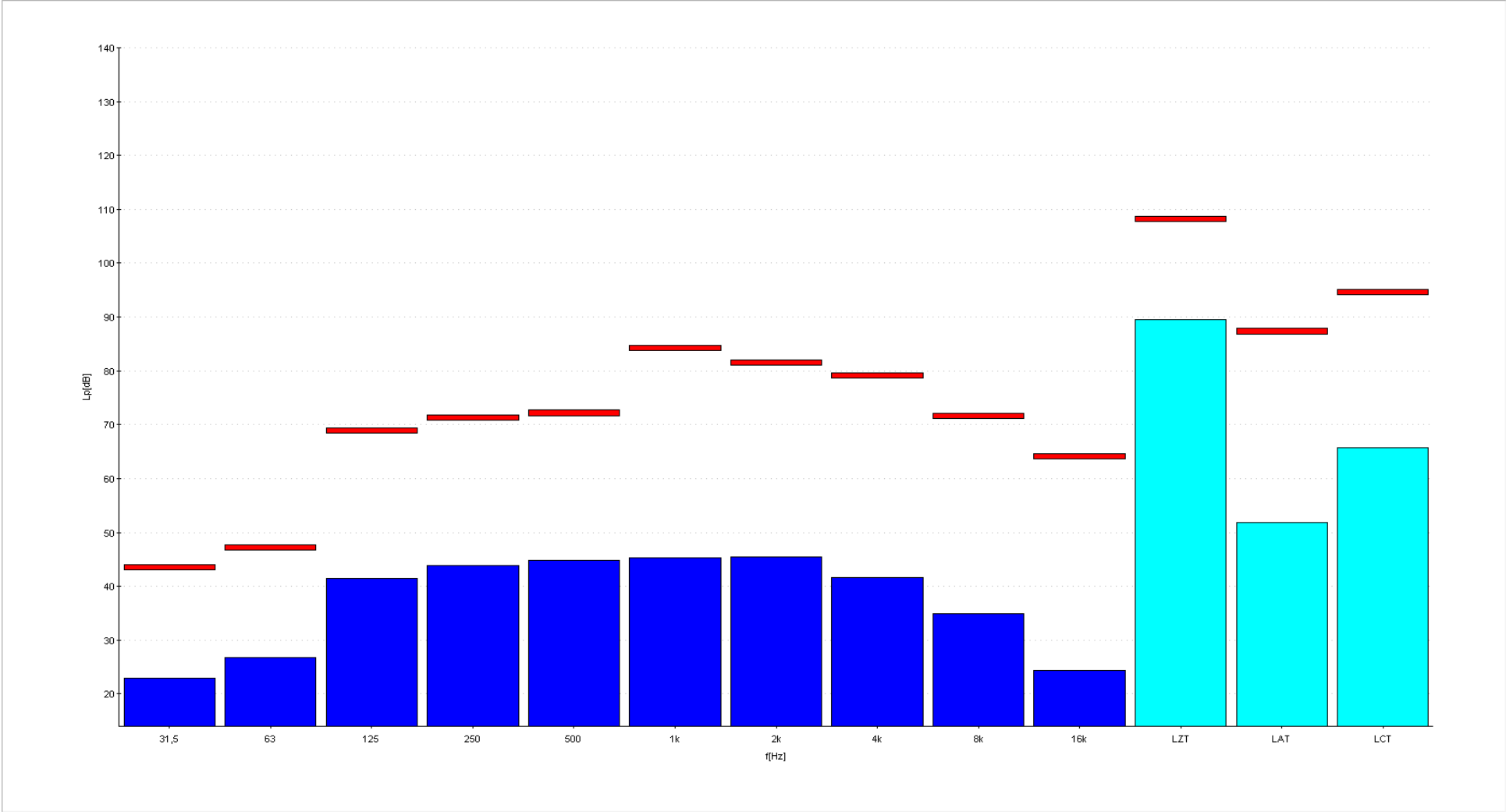
Lopetus: 24.5.2013 7:40:21

Taajuuspainotuksen kertoimien haku : A

POISTO PÄÄLLÄ



POISTO PÄÄLLÄ



TULO PÄÄLLÄ

Numeerinen Analysaattori-C:\Program Files\CESVA Capture Studio\Files\T224268_2013-05-23_07-36-41_003_RTA.ccf

23.5.2013 7:37:36

T:00:00:56

	31,5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz
LT:	15,3	21,9	39,5	41,3	46,2	49,2	46,9	49,1	40,1	28,3
Lpeak:	37,4	37,3	53,4	59,0	79,2	85,6	86,8	92,8	86,9	79,9
LZT:	85,1 dBZ									
LAT:	54,5 dBA									
LCT:	61,1 dBC									
LZTpeak:	99,2 dBZ									
LATpeak:	94,6 dBA									
LCTpeak:	93,4 dBC									

Kaikki mittaustiedot

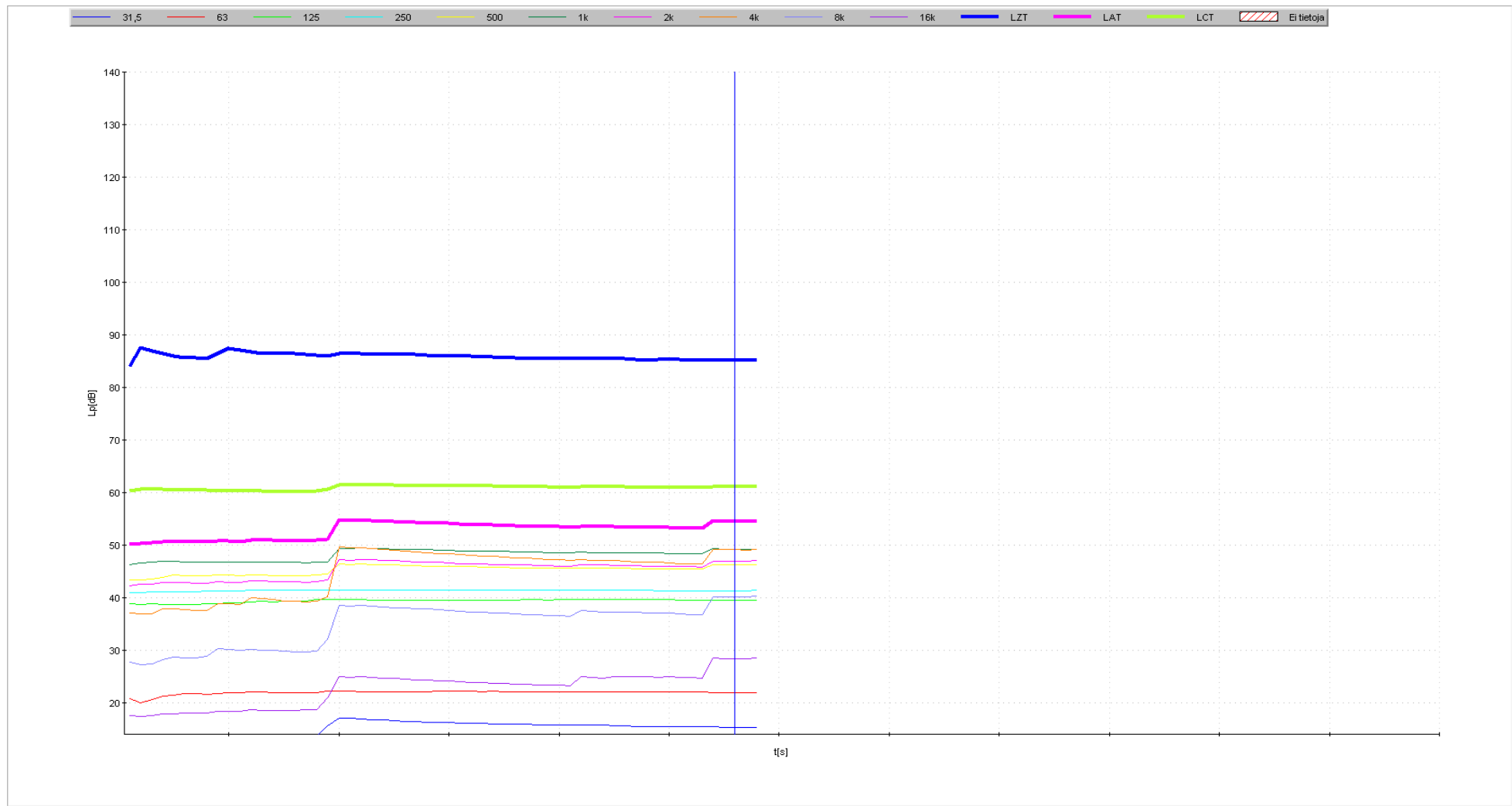
Kesto: 0000:00:58

Aloitus: 23.5.2013 7:36:41

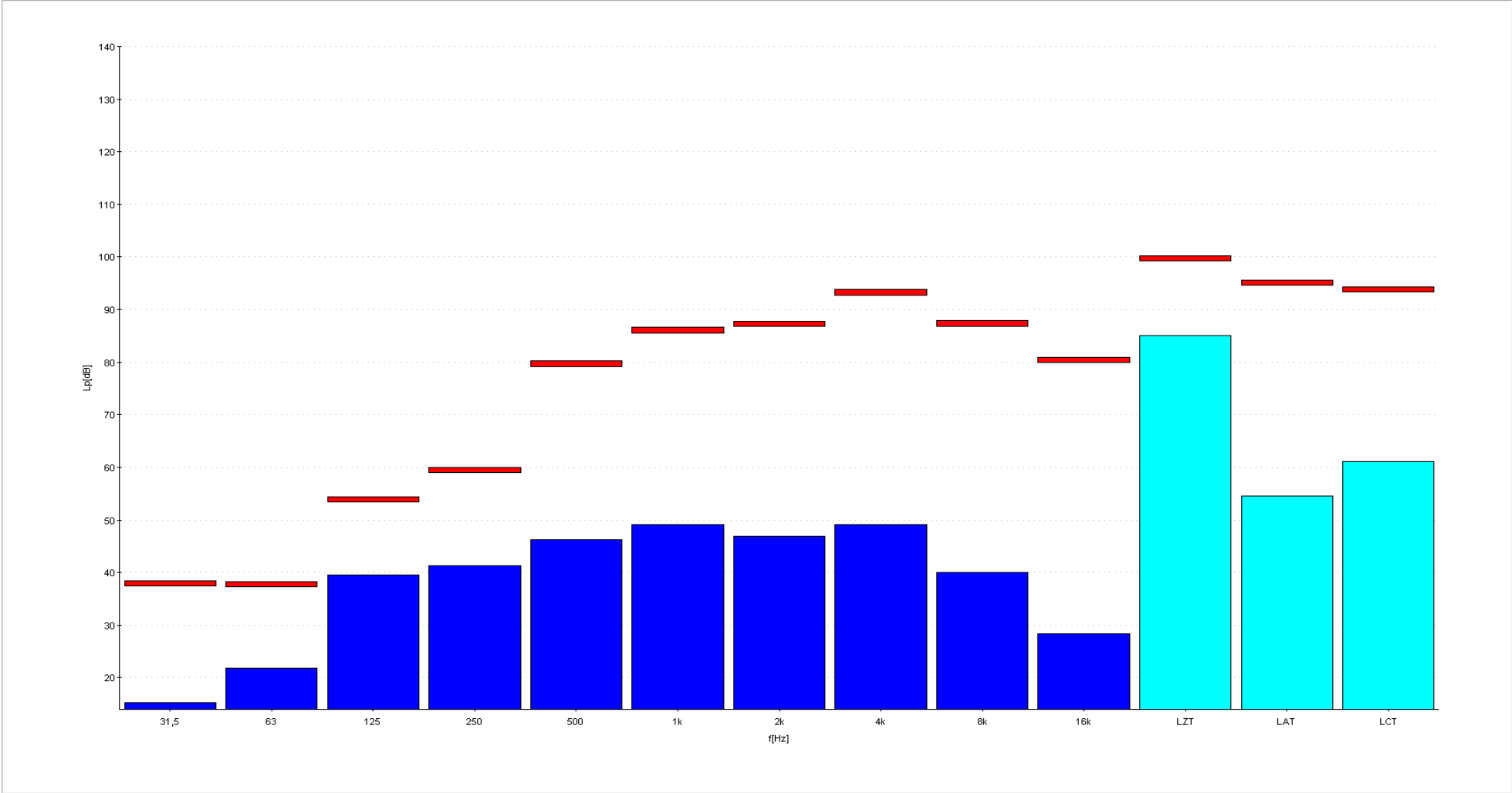
Lopetus: 23.5.2013 7:37:38

Taajuuspainotuksen kertoimien haku : A

TULO PÄÄLLÄ



TULO PÄÄLLÄ



TAUSTAMELU

Numeerinen Analysaattoripuoli-C:\Program Files\CESVA Capture Studio\Files\T224268_2013-05-23_07-26-39_002_RTA.ccf

23.5.2013 7:27:35

T:00:00:57

	31,5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz
LT:	12,2	18,9	39,2	40,9	40,9	42,4	44,8	41,9	33,3	21,3
Lpeak:	28,1	40,9	52,4	57,9	62,4	68,2	75,4	75,0	67,7	53,7
LZT:	82,6 dBZ									
LAT:	49,8 dBA									
LCT:	59,2 dBC									
LZTpeak:	95,4 dBZ									
LATpeak:	79,8 dBA									
LCTpeak:	77,8 dBC									

Kaikki mittaustiedot

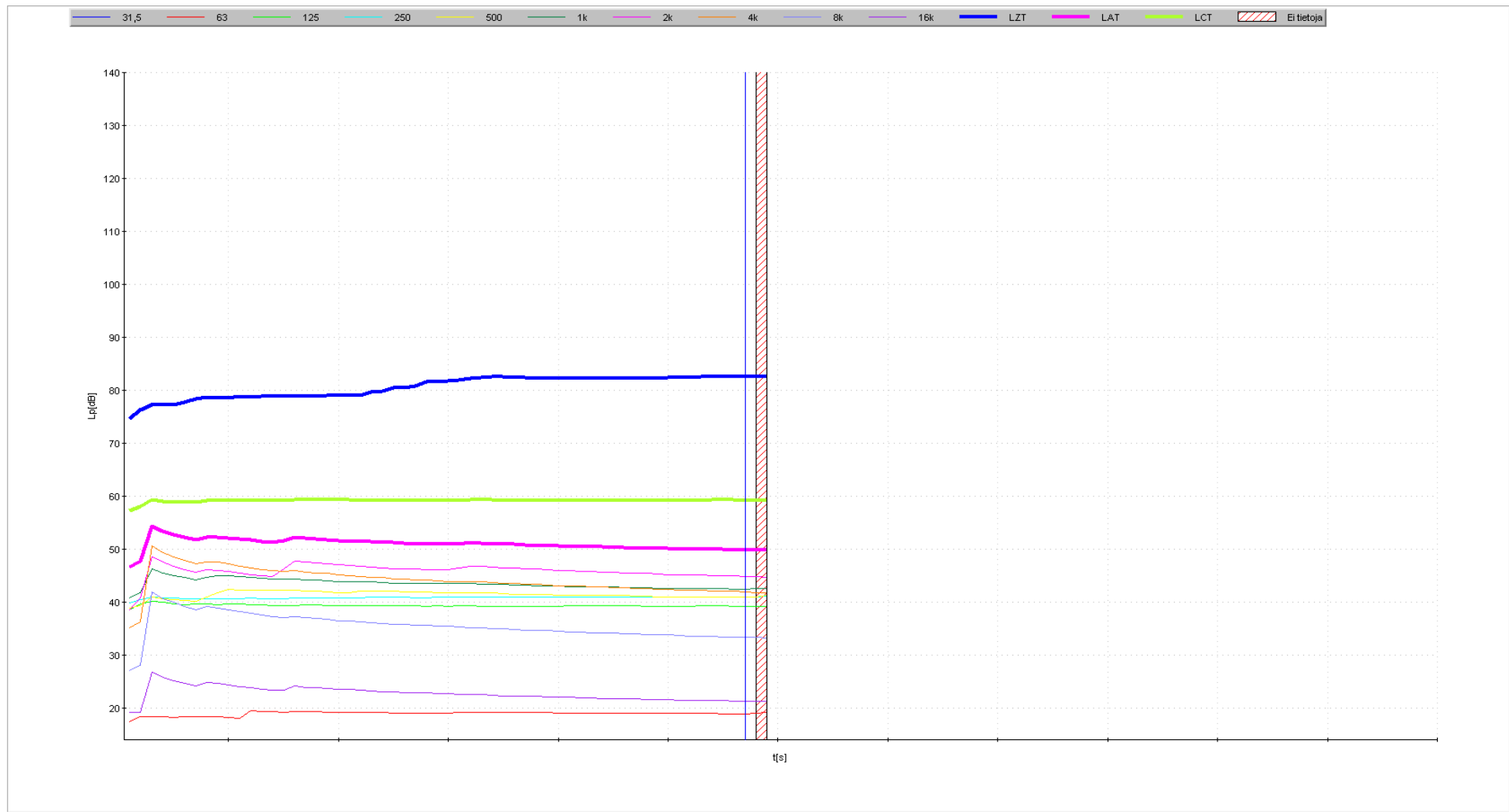
Kesto: 0000:00:59

Aloitus: 23.5.2013 7:26:39

Lopetus: 23.5.2013 7:27:47

Taajuuspainotuksen kertoimien haku : A

TAUSTAMELU



TAUSTAMELU

